

Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación

C.J. Baker, K.E. Saxton, W.R. Ritchie,
W.C.T. Chamen, D.C. Reicosky,
M.F.S. Ribeiro, S.E. Justice y P.R. Hobbs



Editorial ACRIBIA, S.A.



Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación

Dedicatoria

Este libro está dedicado a los investigadores y a los estudiantes que contribuyen con su trabajo y a sus pacientes familias. Esas personas fueron reunidas por el deseo común de hacer que la labranza cero sea una actividad agrícola sostenible y libre de riesgos y para que el proceso de la producción de alimentos en sí mismo sea sostenible por primera vez en la historia. Hubo dificultades importantes que fueron superadas pero los resultados han sido significativos y es de esperar que tengan consecuencias a largo plazo.

Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación

Autores

**C. J. Baker, K. E. Saxton, W. R. Ritchie,
W. C. T. Chamen, D. C. Reicosky, M. F. S. Ribeiro,
S. E. Justice y P. R. Hobbs**

Editado por

C. J. Baker y K. E. Saxton

Publicado por

Food and Agriculture Organization of the United Nations

y

**Editorial Acribia, S.A.
ZARAGOZA (España)**

Título original: No-tillage Seeding in Conservation Agriculture 2ª. ed.
Autores: C. J. Baker, K. E. Saxton, W. R. Ritchie, W. C. T. Chamen, D. C. Reicosky, M. F. S. Ribeiro, S. E. Justice y P. R. Hobbs
Editores: C. J. Baker y K. E. Saxton
Editorial: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma, Italia

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen los datos que contiene no implican de parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites territoriales. La mención específica de empresas o productos de éstas, estén o no patentados, no implican que éstas estén autorizadas o recomendadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación frente a otras de similar naturaleza no mencionadas. Las opiniones expresadas en el libro son aquellas de los autores y no necesariamente representan las de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Todos los derechos reservados. La reproducción y difusión del material contenido en este libro con propósitos educativos u otros propósitos no comerciales están autorizadas sin necesidad de ninguna autorización previa por escrito por parte de los propietarios de los derechos de autor, siempre que la fuente sea debidamente reconocida. La reproducción de material del contenido de este libro para su reventa u otros propósitos comerciales está prohibida sin autorización previa de los propietarios de los derechos de autor. La solicitud para tal autorización debe ser dirigida a Chief, Electronic Publishing Policy and Support Branch, Communication Division, FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00153, Roma, Italia o por correo electrónico a: copyright@fao.org.

© FAO, 2008 (edición en español)

© FAO y CAB International, 2007 (edición en inglés)

Traducción al español del original inglés por
Cadmo Rossell

ISBN: 978-92-5-305389-6 [FAO]

ISBN: 978-84-200-1129-5 [ACRIBIA]

www.editorialacribia.com

IMPRESO EN ESPAÑA

PRINTED IN SPAIN

Reservados todos los derechos para los países de habla española. Este libro no podrá ser reproducido en forma alguna, total o parcialmente, sin el permiso de los editores.

Depósito legal: Z-0000/2009

Editorial ACRIBIA, S.A. - Royo, 23 - 50006 Zaragoza (España)

Imprime: TipoLínea, S. A. – Isla de Mallorca, 13 – 50014 Zaragoza, 2009

Índice de contenido

Autores	xiii
Prólogo a la segunda edición	xv
<i>Shivaji Pandey y Theodor Friedrich</i>	
Prólogo	xvii
1 Los «¿qué?» y los ¿por qué?» de la agricultura con labranza cero	1
<i>C. John Baker y Keith E. Saxton</i>	
¿Qué es la labranza cero?	3
¿Por qué la labranza cero?	6
Ventajas	7
Desventajas	9
Resumen de «¿qué?» y «¿por qué?»	12
2 Los beneficios de la labranza cero	13
<i>Don C. Reicosky y Keith E. Saxton</i>	
Introducción	13
Principios de la agricultura de conservación	14
Beneficios para la producción de cultivos	15
Incremento de la materia orgánica	16
Incremento de la disponibilidad de agua en el suelo	18
Reducción de la erosión del suelo	18
Fortalecimiento de la calidad del suelo	19
Mejor reciclaje de los nutrientes	20
Menores requerimientos de energía	21
Emisiones y secuestro de carbono	23
Resumen de los beneficios de la labranza cero	24
3 La naturaleza del riesgo en la labranza cero	25
<i>C. John Baker, W. (Bill) R. Ritchie y Keith E. Saxton</i>	
¿Cuál es la naturaleza del riesgo en la labranza cero?	25
Riesgos biológicos	26
Riesgos físicos	29
Riesgos químicos	32

	Riesgo económico	35
	Conclusiones	38
	Resumen de la naturaleza del riesgo en la labranza cero	39
4	Abresurcos y forma de las ranuras	41
	<i>C. John Baker</i>	
	Ranuras verticales	42
	Ranuras en forma de V	42
	Ranuras inclinadas en forma de V	47
	Ranuras en forma de U	48
	Abresurcos vibradores	60
	Aberturas horizontales	60
	Aberturas en forma de T invertida	60
	Siembra a golpes	66
	Siembra a voleo en superficie	67
	Resumen de los abresurcos de las sembradoras y la forma de las ranuras	68
5	La función de la cobertura de las ranuras	71
	<i>C. John Baker</i>	
	La función de la humedad del suelo	74
	Métodos de cobertura de las ranuras	77
	Compresión	79
	Rodillos	79
	Presión	80
	Arrastre	81
	Deflectores	83
	Labranza	84
	Doblado	84
	Resumen de las funciones de la cobertura de las ranuras	85
6	Siembra en suelos secos	87
	<i>C. John Baker</i>	
	La pérdida de humedad en el suelo	87
	La función de la fase de vapor del agua del suelo	88
	Germinación	89
	Sobrevivencia superficial	90
	Emergencia de las plántulas	93
	Efectos de la presión	97
	Experiencias de campo	98
	Resumen de siembra en suelos secos	98
7	Siembra en suelos húmedos	101
	<i>C. John Baker</i>	
	Siembra en suelos húmedos	101
	Abresurcos verticales de discos dobles (o triples) – ranuras en forma de V	102

Abresurcos dobles (o triples) inclinados – ranuras inclinadas en forma de V ..	102
Abresurcos de disco vertical plano angulado – ranuras en forma de U	102
Abresurcos de tipo azada – ranuras en forma de U	103
Abresurcos movidos por toma de fuerza – ranuras en forma de U	103
Abresurcos de ala – ranuras en forma de T invertida	103
Suelos secos sembrados que se vuelven húmedos	106
Comportamiento de los abresurcos	111
Resumen de la siembra en suelos húmedos	116
8 Profundidad, colocación y distanciamiento de las semillas	119
<i>C. John Baker y Keith E. Saxton</i>	
Profundidad de siembra y emergencia de las plántulas	120
Uniformidad de la profundidad del abresurcos	121
Seguimiento de la superficie	122
Aparatos para medir la profundidad	122
El valor de las ruedas semineumáticas	124
Soporte flotante	125
Semillas expulsadas por los discos	126
Disturbio del suelo	126
Apretado o clavado de los residuos	126
Rebote de los abresurcos	127
Rebote de las semillas	127
Cierre de las ranuras	127
Funciones de la sembradora y de la sembradora de precisión	128
Mecanismos de penetración vertical	128
Entrega y distanciamiento de las semillas	135
Resumen de profundidad, colocación y distanciamiento de las semillas	139
9 Colocación del fertilizante	141
<i>C. John Baker</i>	
Toxicidad	142
Fertilizante en bandas	144
Bandas verticales comparadas con bandas horizontales	144
Retención de los fertilizantes gaseosos	150
Rendimiento de los cultivos	151
Opciones de la fertilización en bandas	153
¿Cuán cerca debería estar el fertilizante de la semilla?	156
Conclusión	158
Resumen de la colocación del fertilizante	158
10 Manejo de los residuos	161
<i>C. John Baker, Fatima Ribeiro y Keith E. Saxton</i>	
Formas que pueden tener los residuos	161
Vegetación en pie fijada al suelo con raíces cortas	161
Vegetación alta en pie con raíces profundas	163

Paja sobre el suelo.....	163
Manejo de los residuos a escala de campo	165
Labranza cero a gran escala	166
Labranza cero en pequeña escala	169
Manejo de los residuos por medio de abresurcos, sembradoras y sembradoras de precisión: micromanejo de los residuos de los cultivos	174
Manejo de los residuos por los abresurcos	174
Limpiadores de surcos	176
Corte de la paja en trozos cortos	177
Corte de la paja en el campo	178
Paja húmeda comparada con paja seca	186
El problema a favor y en contra de los raspadores	186
Distancia entre los abresurcos	187
Resumen de manejo de residuos	188
11 Comparación del disturbio superficial y de los abresurcos de discos de bajo disturbio	191
<i>C. John Baker</i>	
Disturbio mínimo versus disturbio máximo de las ranuras – ¿Cuánto es demasiado disturbio?	191
Efectos del disturbio	192
Comparaciones entre las características de los abresurcos de discos	196
Resumen de la comparación del disturbio de la superficie y de los abresurcos de discos para bajo disturbio	201
12 Labranza cero para producción de forraje	203
<i>C. John Baker y W. (Bill) R. Ritchie</i>	
Especies forrajeras	203
Sistemas integrados	205
Especies de pasturas para labranza cero	207
Regeneración de pasturas	207
Regeneración de pasturas	211
Dosificación de las semillas	221
Resumen de la producción de forraje en la labranza cero	221
13 Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala	223
<i>C. John Baker</i>	
Ancho de las operaciones	223
Nivelación de la superficie	225
Requisitos de potencia	228
Fuerzas del peso y del abresurcos	228
Restablecimiento de la fuerza de penetración.....	234
Configuraciones de las ruedas y el remolque	236

	Ruedas traseras	236
	Ruedas anteriores y posteriores	236
	Adaptación de los tractores a las sembradoras y a las sembradoras de precisión ..	240
	Almacenamiento y entrega de los productos	241
	Resumen de modelos de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala	244
14	Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión – máquinas para pequeña escala	247
	<i>Fátima Ribeiro, Scott E. Justice, Peter R. Hobbs y C. John Baker</i>	
	Características	247
	Disponibilidad de equipos	248
	Sembradoras mecánicas manuales (Matraca)	248
	Sembradoras en línea (de tracción animal o montadas en el tractor)	249
	Sembradoras de precisión para tracción animal	257
	Sembradoras de precisión adaptadas para cultivadores a motor	257
	Sembradoras de precisión tiradas por tractor	257
	Agricultura con labranza cero en Asia	258
	Resumen de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas en pequeña escala	272
15	Manejo de un sistema de siembra para labranza cero	273
	<i>W. (Bill) R. Ritchie y C. John Baker</i>	
	Selección y preparación del lugar	273
	Competencia de las malezas	274
	Control de pestes y enfermedades	275
	Manejo de la fertilidad del suelo	275
	Densidad de siembra y calidad de las semillas	276
	Capacidad de los operadores	277
	Manejo post-siembra	277
	Planificación – la herramienta más importante para el manejo	277
	Comparación de costos	278
	Resumen del manejo de un sistema de siembra bajo labranza cero	283
16	La agricultura con tráfico controlado – una práctica complementaria para la labranza cero	285
	<i>W. C. Tim Chamen</i>	
	¿Qué es la agricultura con tráfico controlado?	285
	¿Por qué adoptar un régimen de agricultura con tráfico controlado dentro de un sistema de labranza cero?	285
	Los beneficios de un sistema de tráfico controlado	285
	Efectos de la agricultura de tráfico controlado sobre las condiciones del suelo	286
	Implementación del tráfico controlado	296
	Principios básicos	296

Planificación anticipada y uniformización de la maquinaria	297
Proceso de uniformización del ancho de los equipos	297
Diseño del campo y manejo del sistema	300
Orientación de los caminos permanentes	301
Manejo de los caminos	301
Sistemas de guía	303
Economía	304
Costos y cronología de la planificación y transición a tráfico controlado	304
Costos fijos y variables	305
Cambios en los resultados	306
Costos del manejo en el campo	307
Resumen de los costos y ganancias	307
Resumen de la agricultura con tráfico controlado como una práctica complementaria de la labranza cero	308
17 Reducción de las emisiones ambientales y secuestro de carbono	311
<i>Don C. Reicosky y Keith E. Saxton</i>	
Introducción	311
Emisiones de bióxido carbono inducidas por la labranza	311
Medida de las emisiones	312
Efectos de la labranza y de los residuos	312
Labranza en fajas y efectos de la labranza cero sobre la pérdida de CO ₂	314
Secuestro de carbono por medio de la labranza cero	317
Emisiones de nitrógeno	319
Política de los créditos de carbono	321
Resumen de la reducción de las emisiones ambientales y el secuestro de carbono	323
18 Algunas comparaciones económicas	325
<i>C. John Baker</i>	
Comparaciones en Nueva Zelanda	327
Suposiciones	327
Conclusiones generales	332
Comparaciones europeas	333
Conclusiones	335
Resumen de algunas comparaciones económicas	335
19 Procedimientos para el desarrollo y la transferencia de tecnología	337
<i>C. John Baker</i>	
Respuesta de las plantas a los abresurcos para labranza cero en condiciones controladas	338
El microambiente de las semillas dentro y alrededor de las ranuras en la labranza cero	342
Compactación y disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero	345
Resistencia del suelo	345

Presión instantánea del suelo (estrés)	347
Desplazamiento instantáneo y permanente del suelo	348
Densidad del suelo	348
Alisado y compactación	349
Localización de las semillas en el suelo	349
Espaciamiento de las semillas	349
Profundidad de la siembra de las semillas	349
Posición lateral de las semillas en relación a la línea central de la ranura	350
Recorrido de las semillas dentro de los abresurcos para labranza cero	351
Arrastre en un abresurco de disco	352
Pruebas aceleradas de desgaste de abresurcos para labranza cero	354
Efectos de la colocación del fertilizante en bandas dentro de la ranura	356
Prototipos de sembradoras y estrategias de manejo	356
Pruebas de sembradoras de un surco	357
Prueba de campo simultánea de varios diseños de abresurcos	358
Sembradoras y sembradoras de precisión para parcelas	360
Prototipos de sembradoras a escala de campo y servicio de sembradoras para los agricultores	362
Resumen del desarrollo de sembradoras y transferencia de tecnología	362
Referencias	365
Índice alfabético	381

Autores

- C. J. Baker**, *Centre for International No-Tillage Research and Engineering (CINTRE)*, Feilding, Nueva Zelandia.
- W. C. T. Chamen**, *4 Seasons Agriculture and Environment*, Maulden, Bedfordshire, Reino Unido.
- P. R. Hobbs**, *Department of Crops and Soil Science, Cornell University, Ithaca, New York*, Estados Unidos de América.
- S. E. Justice**, *National Agriculture and Environment Forum (NAEF)*, Kathmandu, Nepal.
- D. C. Reicosky**, *United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Morris, Minnesota*, Estados Unidos de América.
- M. F. S. Ribeiro**, *Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR)*, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.
- W. R. Ritchie**, *Centre for International No-Tillage Research and Engineering (CINTRE)*, Feilding, Nueva Zelandia.
- K. E. Saxton**, *United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Pullman, Washington*, Estados Unidos de América (retirado).

Prólogo a la segunda edición

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación históricamente ha apoyado el desarrollo y la extensión de los sistemas agrícolas de la agricultura de conservación. La siembra con labranza cero es una de las operaciones fundamentales de la agricultura de conservación y, junto con los principios de los cultivos de cobertura y la rotación de cultivos, es su principal constituyente. La disponibilidad de tecnología y equipos adecuados es una precondition necesaria para que la agricultura de conservación funcione adecuadamente. Son necesarios equipos adecuados no solo para la siembra directa y la siembra de precisión, sino también para el manejo de los residuos de los cultivos y los cultivos de cobertura.

La edición anterior titulada *No-tillage Seeding: Science and Practice*, por Baker, Saxton y Ritchie fue, en el momento de su entrega al público, una de las publicaciones más completas que cubría los aspectos de la ingeniería de la no labranza así como también los antecedentes agrónomicos y ambientales para la agricultura sin labranza. Ha sido una valiosa publicación de referencia para investigadores y estudiantes y también una guía para los técnicos de campo. Se conoce el caso de un agricultor que después de haber leído el libro adquirió una sembradora para labranza cero y convirtió toda su finca a este sistema.

Este nuevo libro, *Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación* proporciona un enfoque más amplio del equipo usado en los sistemas agrícolas de la agricultura de conservación. Incluye capítulos sobre elementos que anteriormente no habían sido considerados como, por ejemplo, el manejo de los residuos de los cultivos y los cultivos de cobertura, la preparación para las operaciones de siembra bajo labranza cero y las actividades agrícolas, con el tráfico controlado como una tecnología complementaria. También se presentan nuevos capítulos que describen las tecnologías de siembra sin labranza para los pequeños agricultores. Se describen los desarrollos tecnológicos de América del Sur y del sur de Asia, que incluyen equipos manuales, equipos para animales de tiro y equipos para tracción mecánica. En un capítulo de secuestro de carbono en los sistemas de labranza cero se discute el tema de los gases de invernadero como causante principal del cambio climático.

Deseamos que este libro contribuya a una mejor comprensión de los componentes de ingeniería en la agricultura de conservación. También es nuestro deseo que contribuya a la introducción y expansión de esta tecnología. La agricultura de conservación es un enfoque valioso

para la agricultura que puede conducir a sistemas agrícolas más productivos, competitivos y sostenibles con beneficios directos para el ambiente y para los agricultores y sus familias.

Shivaji Pandey

Director

Theodor Friedrich

Oficial Superior

Dirección de Producción y Protección Vegetal

FAO

Roma, diciembre 2008

Prólogo

...y él dio su opinión que quien pudiera producir dos espigas de trigo o dos hojas de pasto en el lugar en que antes crecía solo una debería recibir el reconocimiento de la humanidad, haciendo un servicio esencial a su país más que todos los políticos juntos...

Jonathan Swift, *Viajes de Gulliver* (1726)
«*A Voyage to Brobdingnag*»

Los autores de este libro describen y analizan las tecnologías de labranza cero, especialmente aquellas relacionadas con la siembra con labranza cero en base a experiencias acumuladas en los últimos 40 años. Los autores quisieron descubrir por qué la labranza cero no siempre funcionó y cómo vencer esos obstáculos. Cuanto más aprendimos, más atractiva fue la labranza cero; ahora se han adquirido y probado los conocimientos y la base científica en tal grado que tenemos más confianza en que la agricultura de conservación representa el futuro de la agricultura.

Algunas de las investigaciones presentadas se iniciaron en conocimientos de las tecnologías tradicionales de las sembradoras o abresurcos disponibles usados para la siembra con labranza que fueron un fracaso en las tierras sin labranza o en los suelos cubiertos de residuos. Inevitablemente, esto dio como resultado nuevos diseños de máquinas y evaluaciones y tecnologías asociadas combinadas. La premisa fundamental fue que cada parte funcional de cualquier diseño nuevo debía tener una razón científica y un comportamiento verificables; lo cual, por lo general, fue el resultado de un largo proceso evolutivo.

No se hicieron suposiciones funcionales. Todas las ideas comunes acerca de los requerimientos de las semillas fueron confrontadas o descartadas y se hicieron nuevos experimentos para determinar sus requerimientos específicos en suelos no labrados. Estos nuevos conocimientos fueron combinados con otros conocimientos existentes que demostraron ser aún aplicables. En otros casos las reglas para los suelos labrados simplemente no se aplicaron o demostraron ser erróneas cuando se aplicaron a suelos no labrados. Se encontró que los suelos sin disturbar presentan distintos recursos y desafíos que los suelos labrados, por lo que requieren diferentes enfoques para sembrar las semillas.

Otros autores informan acerca del proceso en el suelo cuando cesa la labranza. Actualmente, ahora se sabe que la labranza cero beneficia al suelo y que la labranza lo deteriora pero

¿cuáles son los mecanismos que los causan y cómo pueden ser cuantificados los mejoramientos o los daños? ¿pueden las ganancias ser aún mejoradas por medio de técnicas tales como el control del tráfico en la agricultura? Otros autores estudiaron los equipos disponibles y los métodos de manejo que relacionan esos sistemas de labranza cero y sus aplicaciones en mayor o menor extensión. Solamente cuando se comprenda la capacidad de los equipos modernos de labranza cero y esta sea totalmente integrada en la producción agrícola, cuantificada adecuadamente y de forma realista, se podrán hacer recomendaciones a nivel local.

Los autores, en su conjunto, han proporcionado una revisión completa de los elementos que contribuyen al funcionamiento del sistema de labranza cero. Estos elementos incluyen el diseño de maquinaria y sus principios operativos, las interacciones de las máquinas con el suelo, la importancia de insumos paralelos como herbicidas, pesticidas y tráfico controlado y el manejo del sistema como un todo, lo que incluye la cuantificación de la importancia del carbono del suelo y el rastreo de las emisiones de bióxido de carbono como una función del disturbio del suelo. También proporcionan una guía sobre procedimientos experimentales para la evaluación de las variables.

Este libro no pretende ser un programa de acción sobre cómo diseñar cualquier tipo de máquinas, componentes o sistemas para labranza cero. Es un registro de comportamientos comparativos de varias opciones de diseños de máquinas y prácticas de manejo diferentes, probadas bajo condiciones científicas y cómo éstas han llegado a integrarse en un sistema completo de labranza cero. Gran parte de la información está relacionada con el comportamiento biológico de las máquinas y los suelos, dado que ambos cumplen primariamente funciones biológicas, pero el comportamiento mecánico no es ignorado ya que la interfase entre ambos es particularmente importante.

El lector es invitado a evaluar la pertinencia de los datos presentados. Algunos autores remarcan la importancia de los datos que llevaron al diseño de la versión del abresurcos de discos o abresurco de ala, llamado *Cross Slot*®. Otros apreciarán diferentes elementos en los datos. Sin embargo, la investigación independiente y la experiencia de campo han mostrado en forma sostenida que los datos y las conclusiones extraídas de los mismos han sido sumamente seguros y en cierto modo proféticos.

La importancia del libro radica en la indicación de que ahora hay formas y medios para que la labranza cero sea más segura o menos propensa a los fracasos que la labranza convencional y que es posible obtener rendimientos no solo iguales a aquellos obtenidos con la labranza sino que en muchos casos pueden ser superiores. Los suelos sin labrar contienen un mayor potencial que los suelos labrados para la germinación de las semillas y para que se establezcan y crezcan las plantas. Además, por supuesto, son mucho más amigables con el ambiente. El problema para la humanidad ha sido aprender y comprender cómo aprovechar ese potencial. Esperamos que este libro contribuya a satisfacer este objetivo.

El libro amplía la primera edición titulada *No-Tillage Seeding: Science and Practice* (Baker, Saxton y Ritchie, ISBN 0 85199 103 3, publicado por primera vez por CAB International en 1996 y reimpresso en 2002).

1

Los «¿qué?» y los «¿por qué?» de la agricultura con labranza cero

C. John Baker y Keith E. Saxton

La humanidad aún no ha diseñado ninguna técnica agrícola tan efectiva como la labranza cero para detener la erosión del suelo y hacer que la producción de alimentos sea realmente sostenible.

Desde los inicios de la década de 1960 los agricultores han debido adoptar alguna forma de labranza de conservación para salvar el suelo del planeta, para reducir la cantidad de combustible quemado para la producción de alimentos, para reducir la contaminación de las aguas corrientes, para reducir la erosión eólica y la degradación de la calidad del aire y para sostener otras causas nobles y genuinas. Charles Little, en *Green Fields Forever* (1987), describió el genuino entusiasmo que muchos conservacionistas tienen por esta técnica. Sin embargo, las experiencias anteriores de los agricultores, especialmente con la labranza cero, sugerían que la adopción de tales técnicas podía acarrear el riesgo de una menor emergencia de las plántulas y de una pérdida de rendimiento de los cultivos o, peor aún, el fracaso de los cultivos, algo que debían necesariamente aceptar para llegar a obtener, a largo plazo, las ganancias prometidas anteriormente.

Es improbable que los agricultores de hoy día aprecien los beneficios a corto plazo en sus prácticas conservacionistas. Dejar un legado de una tierra mejor para las generacio-

nes futuras es un hecho distinto de la realidad de tener que alimentar a corto plazo a la generación actual y de tener un medio de vida. Con cierta razón, las decisiones expeditivas a corto plazo fueron prioritarias. Si bien algunos países ya producen el 50 por ciento o más de sus alimentos por el sistema de labranza cero (por ej., Argentina, Brasil y Paraguay), se estima que a nivel mundial el sistema de labranza cero cubre sólo el 5-10 por ciento de la producción de alimentos. Hay aún un largo camino que recorrer. Sin duda, ha habido buenos e incluso excelentes cultivos de labranza cero pero también ha habido fracasos. Y son estos fracasos los que toman un lugar primordial, colectivamente, pero no en la mente de los agricultores más avanzados o innovadores.

Durante siglos la labranza ha sido fundamental para la producción agrícola, para preparar la cama de semillas y para controlar las malezas. Ahora se está cambiando la historia pero no siempre se omite la labranza (si bien es un objetivo loable); sin embargo, en forma significativa, se alternan las razones y los procesos involucrados. Muchas personas interpretan la labranza como un proceso de manipulación física del suelo para llegar a controlar las malezas, afinar la tierra, darle suavidad, aireación, porosidad artificial, friabilidad y contenido óptimo de humedad, para facilitar la siembra y la cobertura de las semillas. En este proceso, el suelo indisturbado es cortado, su ciclo es

acelerado, impactado, invertido, comprimido, abierto y desorganizado en un esfuerzo para romperlo físicamente y enterrar las malezas, exponer sus raíces para que se sequen o destruir las por el corte. El objetivo de la labranza es crear material del suelo libre de malezas, blando y friable en el cual los abresurcos poco elaborados de las sembradoras convencionales puedan penetrar fácilmente.

Durante las operaciones de labranza cero pocos o ninguno de esos procesos tienen lugar. En este proceso se aplican otras medidas de control de malezas, por ejemplo, herbicidas que deben sustituir el disturbio físico del suelo para arrancar, enterrar o exponer a la atmósfera las malezas existentes. Pero parte del objetivo de la labranza es también estimular la germinación uniforme de otras semillas de malezas de modo que nazcan en forma uniforme y puedan así ser fácilmente controladas en sus etapas juveniles por otra operación de labranza. Por lo tanto, la labranza cero debe encontrar otra forma de estimular la germinación uniforme de las semillas de malezas, lo cual podría requerir una nueva aplicación de herbicidas o, en primer lugar, evitar el estímulo a un nuevo crecimiento de las malezas.

En su alocución principal en el Congreso Mundial de Ciencias del Suelo en 1994, el Premio Nobel, Norman Borlaug, estimó que la producción mundial de cereales—que significa el 69 por ciento del abastecimiento mundial de alimentos—debería aumentar en 24 por ciento en el año 2000 y duplicarse en el 2025. Más importante aún, Borlaug estimó que los rendimientos de grano deberían incrementarse en un 80 por ciento en el mismo período ya que la disponibilidad de nuevas tierras arables en el mundo está severamente limitada. Hasta ahora, los incrementos de rendimiento provienen fundamentalmente de un mayor uso de fertilizantes y pesticidas y del mejoramiento genético de las especies cultivadas. El desafío que se presenta a la labranza cero es contribuir al futuro incremento y al mismo tiempo

llegar a la preservación de los recursos y las metas ambientales. Sin embargo, esto sucederá solamente si la labranza cero se practica a niveles tecnológicamente altos.

La noción de sembrar semillas en suelos sin labrar es remota. Ya los antiguos egipcios utilizaban este método haciendo un hoyo con un palo en el suelo sin labrar y cerrándolo con los pies. Fue recién en la década de 1960 que fueron entregados al uso público los herbicidas diquat y paraquat por la Imperial Chemical Industries Ltd (actualmente Syngenta) en Inglaterra, y paralelamente nació el concepto moderno de labranza cero ya que las malezas podrían ser controladas efectivamente sin la labranza.

En la década anterior se había reconocido que, para que la labranza cero fuera viable, las malezas deberían ser controladas por otro método que no fuera la labranza. Sin embargo, en ese momento el rango de productos agroquímicos era limitado en razón de su efecto residual en el suelo; era necesario esperar varias semanas después de asperjar antes de poder sembrar en forma segura otro cultivo, lo cual en cierta medida negaba la posibilidad de ahorro de tiempo, una de las ventajas más claras de la labranza cero sobre la labranza convencional. El paraquat y el diquat son casi instantáneamente desactivados en su contacto con el suelo. Cuando se asperjan sobre malezas vivas susceptibles, el suelo debajo de ellas está casi inmediatamente pronto para recibir nuevas semillas sin riesgo de daños.

Este adelanto en el control químico de las malezas dio lugar al surgimiento de la verdadera labranza cero. Desde entonces ha habido otros herbicidas de translocación, no residuales, de amplio espectro, tales como el glifosato, que fue introducido como *Roundup* por Monsanto. Otros compuestos genéricos como el trimesium glifosato (*Touchdown*) y el glufosinato de amonio (*Buster*) fueron posteriormente comercializados por otras compañías que expandieron aún más el concepto.

En otras circunstancias se han usado medidas no químicas de control de malezas, entre ellas el uso de lanzallamas, quema con vapor, paso de rodillos con cuchillas y remoción manual de las malezas. Ninguna de las medidas alternativas ha demostrado hasta el momento ser tan efectiva como la aspersión con un herbicida de traslocación, no residual. Estos compuestos químicos son traslocados a las raíces de la planta con un resultado letal. La muerte de solo la parte aérea puede en algunos casos permitir la regeneración de la planta a partir de las partes no afectadas.

La aplicación de cualquier compuesto químico dentro de la cadena productiva de alimentos propone correctamente la pregunta de la seguridad humana y biológica. Sin duda alguna, muchos compuestos deben ser aplicados cuidadosamente bajo condiciones específicas para obtener resultados también específicos, tal como ocurre con cualquier producto farmacéutico moderno para aplicar en curas y controles. Por medio de cuidadosos trabajos científicos y tal vez algo de fortuna, se ha encontrado que el glifosato no es tóxico para los seres vivos, excepto para las plantas verdes y ha sido usado con seguridad durante muchos años virtualmente sin efectos conocidos, salvo para el control de las plantas indeseables.

El desarrollo más reciente por medio de la modificación genética de los cultivos ha producido algunas plantas seleccionadas inmunes a herbicidas específicos como el glifosato. Esta característica única permite sembrar el cultivo sin tomar en consideración el problema de las malezas hasta que el cultivo esté bien establecido y entonces asperjar el cultivo y las malezas en una sola operación. Las malezas susceptibles son eliminadas y el cultivo inmune prospera produciendo un dosel foliar que compite con cualquier crecimiento subsiguiente de las malezas, por lo general hasta el momento de la cosecha. Solamente algunos cultivos seleccionados como el maíz y la soja se cultivan actualmente con esta

modalidad, pero ya se ha cubierto un importante porcentaje del área cultivada en el mundo. Sobre la base de estos éxitos, otros importantes cultivos alimenticios y para fibras están siendo modificados en ese sentido.

¿Qué es la labranza cero?

Tan pronto como fue reconocido el concepto moderno de labranza cero basado en herbicidas no residuales (principalmente traslocados) se inventaron innumerables nombres para describir el proceso. «No labranza», «siembra en surcos» o «siembra directa» son todos términos que describen la siembra de semillas en suelo que no ha sido previamente labrado para formar una cama de semillas. El primer término usado fue «siembra en surcos», principalmente en Inglaterra, donde se originó el concepto de esta técnica en la década de 1960. El término «no labranza» se comenzó a usar poco después en los Estados Unidos de América pero últimamente parece preferirse el término «siembra directa» ya que la palabra negativa «no» causa una aparente ambigüedad cuando es usada para describir un proceso positivo. Esos términos son usados como sinónimos en muchas partes del mundo, tal como se hace en este libro.

Algunos de esos nombres se citan más adelante junto con sus explicaciones, algunos solamente por interés histórico pero, en resumen, lo importante no es el nombre sino el proceso.

Agricultura con residuos: describe las prácticas de agricultura de conservación en las cuales la retención de residuos es el objetivo primario, pero que puede posiblemente traer consigo otros beneficios de la agricultura de conservación mencionados anteriormente.

Agricultura sostenible: es el producto final de la aplicación de las prácticas de labranza cero en forma continuada. La producción agrícola basada en la labranza convencio-

nal ahora es considerada insostenible a causa de la degradación de los recursos y su ineficiencia, mientras que la agricultura continua basada en la labranza cero es muy probablemente sostenible a largo plazo y bajo la mayoría de las condiciones agrícolas. Otras discusiones sobre «sostenibilidad» incluyen temas que van más allá de la preservación de los recursos naturales y la producción de alimentos, tales como la economía, la energía y la calidad de la vida.

Barbecho químico: describe un campo que en el momento no está cultivado y en el que las malezas han sido suprimidas por medio de herbicidas.

Cama de semillas empobrecida: describe una tierra sin labranza que ha estado durante un tiempo en barbecho; por lo general, pero no exclusivamente, se somete periódicamente a control químico de malezas.

Labranza de conservación y agricultura de conservación: son los términos genéricos comúnmente dados a la no labranza, a la labranza mínima y/o a la labranza en caballones para denotar que esas prácticas tienen incluido un elemento con el objetivo de la conservación. Por lo general, la cobertura del 30 por ciento de la tierra con residuos después de la siembra indica el límite más bajo de la clasificación de labranza conservacionista o agricultura de conservación; otros objetivos de la conservación incluyen el ahorro de dinero, trabajo, tiempo, combustible, lombrices de tierra, agua y estructura del suelo y sus nutrientes. Por esa razón, los niveles de residuos por sí solos no describen adecuadamente todas las prácticas y beneficios de la labranza conservacionista o de la agricultura de conservación.

Labranza en caballones: describe la práctica de formar caballones en el suelo arado en el cual se forman surcos muy espaciados para los cultivos. Esos caballones o surcos se conservan durante varias estacio-

nes sucesivas de cultivos sin labranza, de lo contrario deben ser reconstruidos todos los años.

Labranza en fajas: se refiere a la práctica de labrar un faja estrecha con abresurcos de modo que la semilla caiga en una faja de tierra labrada y la tierra entre las fajas permanece indisturbada. También se refiere a la labranza en contorno de fajas de 100 o más metros de ancho separadas por amplias fajas sin labrar, como una medida de control de la erosión basada en la labranza.

Labranza mínima, labranza reducida: describen la práctica de limitar la labranza general del suelo al mínimo posible para el establecimiento de un cultivo y/o controlar las malezas o fertilizar. Esta práctica se ubica en cierto modo entre la labranza cero y la labranza convencional. La práctica moderna enfatiza la cantidad de retención de residuos como un objetivo importante de la labranza mínima o reducida.

Labranza química: intenta indicar que la función de control de malezas normalmente atribuida al arado ha sido hecha por medio de herbicidas. Los grupos anti-agroquímicos rápidamente le quitaron popularidad al concepto aún tan restrictivo que es poco usado hoy día.

Rastreo con discos: refleja uno de los primeros conceptos que entendían que la labranza cero o el rastreo directo del suelo podía ser efectuado solamente con rastras de discos, algo que se demostró que era erróneo; en algunos casos esta práctica se conoció como rastreo con discos, pero ese término no ha persistido. Además, las rastras de discos también son usadas en tierras labradas.

Siembra sobre el césped, siembra en cobertura: hacen referencia a las prácticas de sembrar semillas de especies forrajeras sobre las especies forrajeras existentes, conocidas en general como renovación de especies forrajeras. El uso correcto del término no implica la roturación del suelo

sino esparcir semillas a voleo sobre la superficie de la tierra.

La característica comúnmente identificada de la labranza cero es que la superficie del suelo permanece recubierta con residuos intactos del último cultivo tanto tiempo como sea posible, ya sea que estos se aplasten o se conserven en pie después de una cosecha o de una pastura densa que ha sido asperjada. En los Estados Unidos de América donde, en términos generales, la labranza de conservación es comúnmente utilizada como una medida de control de la erosión, la superficie mínima aceptada de tierra cubierta con residuos después del paso del abresurcos es del 30 por ciento. Muchos técnicos de campo favorecen la opción de que la labranza cero o la siembra directa deberían tener como objetivo por lo menos el 70 por ciento de cobertura de la tierra.

Por supuesto, algunos cultivos como algodón, soja y lupinos dejan escasos residuos después de la cosecha y es probable que no cubran un 70 por ciento del área. En esos casos, de cualquier manera, es posible hacer la siembra directa y se puede considerar como verdadera labranza cero. Sin embargo, un observador puede considerar que no es labranza cero lo que para otro observador puede serlo; ello dependerá de los términos de referencia y de las expectativas de cada observador.

El criterio fundamental que engloba todos los enfoques de labranza cero no es la cantidad de residuos que permanecen sobre el suelo después de sembrar sino si el suelo ha sido o no disturbado. Si bien durante la siembra, tal como se explicará más adelante, esa definición aparentemente poco ambigua se vuelve confusa al considerar la incidencia de las sembradoras y los abresurcos en el suelo. Algunos agricultores literalmente aran una faja a medida que pasan mientras que otros dejan todo el suelo casi indisturbado. De esta manera el suelo sin labrar antes de la siembra podría ser algo diferente después de la siembra.

Este libro está enfocado al tema de la «labranza cero» en la cual no ha ocurrido un pre-

vio disturbio o manipulación del suelo, excepto un posible disturbio mínimo causado por un control de malezas poco profundo, la fertilización o la rotura de capas compactadas subsuperficiales. Tales objetivos son sin duda enteramente compatibles con una verdadera labranza cero. Es de esperar que cualquier disturbio antes de la siembra tenga un mínimo efecto sobre el suelo o los residuos.

Dependiendo de la historia de los cultivos y la versatilidad de la maquinaria de siembra disponible, puede ser necesario hacer una o más funciones mínimas de disturbio para obtener el mejor resultado de los cultivos. La más común de estas funciones es la fertilización cuando esta no puede ser hecha como parte de la siembra. Los primeros ensayos de labranza cero a menudo solo esparcían fertilizante a voleo sobre el suelo y esperaban que este penetrara con la precipitación pluvial; sin embargo, dos hechos resultaron evidentes. En primer lugar, solo el fertilizante nitrogenado fue transportado por el agua y dejó el resto del fósforo y el potasio sobre o cerca de la superficie del suelo. Aún así, el flujo preferencial del nitrógeno hacia la zona de las lombrices de tierra y de los canales dejados por las raíces viejas, a menudo significaba que gran parte del nitrógeno iba más allá de las raíces juveniles del nuevo cultivo (ver Capítulo 9).

En segundo lugar, las plantas de malezas emergentes entre las plantas del cultivo rápidamente se convertían en los primeros usuarios de este fertilizante y superaban en su crecimiento al cultivo. La colocación subsuperficial del fertilizante es ahora el único procedimiento recomendado, a menudo en bandas, cerca del surco sembrado o del cultivo emergente.

Cuando hay escasa disponibilidad de herbicidas, puede ser más económico hacer una limpieza de malezas antes de sembrar para reducir la presión de las malezas sobre el cultivo emergente. Si esta operación se hace en la agricultura de conservación, debe ser muy superficial y dejar la superficie del suelo y los residuos casi intactos para la operación de

siembra. Los implementos típicos que pueden ejercer este control de malezas son los arados de cinceles en V a poca profundidad o un trabajo manual con azada.

La compactación que se forma después de muchos años de labranza convencional reiterada no puede ser corregida en un breve plazo por un simple cambio a la labranza cero. Mientras los microorganismos del suelo reconstruyen su número y mejoran la estructura del suelo en un proceso que puede insumir varios años, incluso en condiciones climáticas favorables, la compactación histórica puede subsistir. Es posible obtener una mejoría temporal usando un subsolador que raja y rompe las zonas subsuperficiales causando un disturbio muy limitado en la superficie.

Sin embargo, algunas veces los subsoladores excesivamente agresivos pueden causar tal disturbio de la superficie que se hace necesario recurrir a la labranza completa para uniformizar la superficie. Esta aparentemente interminable espiral negativa debe ser detenida si se desea obtener beneficios de la labranza cero. Es necesario un subsolador menos agresivo o de acción poco profunda que permita la labranza cero después de su pasaje, sin ningún otro trabajo sobre la superficie del suelo.

Otro método efectivo es sembrar gramíneas o pasturas en el terreno compactado y pastorearlo con animales livianos o dejarlos pastorear o dejarlo en descanso varios años antes de comenzar un programa de labranza cero. Una regla simple para estimar cuántos años de pasturas son necesarios para restaurar el carbono orgánico del suelo y para que sea corregido el daño hecho por la labranza convencional fue establecido por Shepherd *et al.* (2006) en un suelo gley (Kairanga limo arcilloso sedimentario) bajo un cultivo de maíz en Nueva Zelanda, como sigue:

Cuando la labranza se ha llevado a cabo durante cuatro años consecutivos, es necesario aproximadamente un año y medio de pasturas para restaurar los niveles del carbono orgánico del suelo.

Cuando la labranza se ha llevado a cabo durante más de cuatro años consecutivos, son necesarios hasta tres años de pasturas por cada año de labranza para restaurar los niveles de carbono orgánico del suelo.

La tasa de recuperación de la estructura del suelo siempre es más lenta que la tasa de recuperación del carbono orgánico del suelo. Cuanto más degradado está el suelo, mayor es el atraso.

¿Por qué la labranza cero?

No es el propósito de este libro explorar en detalle las ventajas o desventajas de la labranza cero o de la labranza de conservación. Numerosos autores han llevado a cabo esta tarea desde que Edward Faulkner y Alsiter Bevin pusieron en duda la sabiduría de arar en la publicación *Ploughman's Folly* (Faulkner, 1943) y *The Awakening* (Bevin, 1944). Si bien ninguno de esos autores realmente propuso la labranza cero, es interesante notar que Faulkner hizo observaciones que ahora son proféticas: «nadie ha presentado nunca razones científicas para arar». De hecho, mucho antes de la época de Faulkner y Bevin, los antiguos incas, los escoceses, los indígenas de América del Norte y los polinesios del Pacífico ya practicaban diversas formas de labranza conservacionista (Graves, 1994).

Más aún, para enfocar en forma realista los métodos y la mecanización de las tecnologías de labranza cero, es conveniente comparar las ventajas y desventajas de esa técnica en general con las prácticas comunes de la agricultura con labranza. Los puntos más comunes se resumen líneas abajo, sin que estén presentados en orden prioritario. Aquellos que están seguidos por un asterisco * pueden ser una ventaja o una desventaja, según las distintas circunstancias.

En el Capítulo 2 se encontrará en mayor extensión el tema de las ventajas (beneficios) de la labranza cero, especialmente respecto a

aquellas derivadas directa o indirectamente del fortalecimiento de los niveles de carbono orgánico del suelo y en el Capítulo 3 se examinarán en más detalle los riesgos de la labranza cero.

Ventajas

Ahorro de combustible. Hasta un 80 por ciento del combustible usado para el establecimiento de cultivos comerciales se ahorra al pasar de la labranza convencional a la labranza cero.

Ahorro de tiempo. En la labranza cero son necesarias de una a tres entradas al campo (asperjado, siembra y tal vez subsolado) lo cual resulta en un gran ahorro de tiempo para la instalación de un cultivo en comparación con las cinco a diez entradas necesarias para la labranza convencional, además de los períodos de barbecho durante el proceso de labranza.

Ahorro de mano de obra. En la labranza cero son necesarias hasta un 60 por ciento menos de horas/hombre/ha en comparación con la labranza convencional.

Flexibilidad del tiempo. La labranza cero permite tomar decisiones más tardías con respecto a los cultivos a ser realizados en un campo o estación dados.

Incremento de la materia orgánica. Al dejar los residuos de los cultivos anteriores sobre la superficie del suelo para su descomposición, se incrementa la materia orgánica cerca de la superficie, la cual proporciona alimentos para los microorganismos del suelo que son los constructores de su estructura. La labranza oxida la materia orgánica y da lugar a su progresiva reducción, a menudo mayor que lo que se gana con su incorporación.

Incremento del nitrógeno del suelo. Las operaciones de labranza mineralizan el nitrógeno del suelo que eventualmente puede proporcionar una ayuda al crecimiento de

las plantas; ese nitrógeno es extraído de la materia orgánica del suelo y reduce así aún más los niveles de materia orgánica del suelo.

Preservación de la estructura del suelo. La labranza destruye la estructura natural del suelo mientras que la labranza cero minimiza la rotura de la estructura e incrementa la materia orgánica y el humus para comenzar el proceso de reconstrucción del suelo.

Preservación de las lombrices de tierra y otra fauna del suelo. Al igual que con la estructura del suelo, la labranza convencional destruye el aliado más valioso del ser humano, como son las lombrices de tierra, mientras que la labranza cero favorece su multiplicación.

Mejor aireación. Contrariamente a las primeras predicciones, el aumento del número de las lombrices de tierra y el mejoramiento de la materia orgánica y de la estructura del suelo dan lugar a una mayor aireación y porosidad. Los suelos no se vuelven progresivamente más duros y más compactos, sino que ocurre lo contrario, por lo general después de dos a cuatro años de labranza cero.

Mejor infiltración. Los mismos factores que airean el suelo dan lugar a un mejoramiento de la infiltración. Además, los residuos reducen el sellado de la superficie causado por el impacto de las gotas de lluvia y reducen la velocidad del agua de escorrentía.

Prevención de la erosión del suelo. La suma de la preservación de la estructura del suelo, de las lombrices de tierra, de la materia orgánica y de los residuos para proteger la superficie del suelo e incrementar la infiltración sirve para reducir la erosión hídrica y eólica más que cualquier otra técnica de producción agrícola desarrollada por el ser humano.

Conservación de la humedad del suelo. Cualquier disturbio físico del suelo lo expone a ser secado mientras que la labranza cero

y los residuos superficiales reducen el secado en forma sensible. Además, la acumulación de materia orgánica en el suelo mejora claramente su capacidad de retención de agua.

Disminución de la necesidad de riegos. Una mejor capacidad de retención de agua y una reducción de la evaporación del suelo disminuyen la necesidad del riego, especialmente en las primeras etapas del crecimiento de las plantas cuando la eficiencia del riego es menor.

*Moderación de las temperaturas del suelo.** Bajo la labranza cero la temperatura del suelo en verano es menor que bajo labranza convencional. Las temperaturas en invierno son más altas cuando la retención de la nieve por los residuos es un factor importante, pero las temperaturas de la primavera se pueden reducir.

Reducción de la germinación de las malezas. La ausencia del disturbio físico del suelo bajo la labranza cero reduce el estímulo para la germinación de nuevas malezas; sin embargo, el efecto de este factor dentro del surco es fuertemente dependiente de la cantidad del disturbio causado por los abresurcos en la operación de labranza cero.

Mejoramiento del drenaje interno. La mejor estructura, materia orgánica, aireación y actividad de las lombrices de tierra aumentan el drenaje natural en los suelos húmedos.

Reducción de la contaminación de las corrientes de agua. La disminución del agua de escorrentía del suelo y los compuestos químicos que esta transporta reducen la contaminación de ríos y arroyos.

Mejoramiento de la trafabilidad. Los suelos bajo labranza cero pueden resistir el tráfico animal y de vehículos con menos compactación y daño estructural que los suelos labrados.

Menores costos. El total del capital y/o de los costos operativos de toda la maqui-

naria necesaria para establecer cultivos bajo labranza se reduce hasta un 50 por ciento cuando la labranza cero sustituye a la labranza convencional.

*Mayores intervalos para el reemplazo de maquinaria.** Dado que se reducen las horas/ha/año necesarias, los tractores y las máquinas sembradoras son reemplazadas con menor frecuencia y reducen los costos del capital a lo largo del tiempo. Sin embargo, algunas sembradoras livianas para labranza cero se desgastan más rápidamente que máquinas similares para labranza en razón del mayor estrés a que son sometidas en los suelos sin labrar.

*Menor capacitación del personal.** La labranza cero es una tarea que requiere cierta capacidad del personal pero el total de capacitación técnica requerida es menor que para la secuencia de las múltiples operaciones necesarias para la labranza convencional.

Mezcla natural del potasio y el fósforo del suelo. Las lombrices de tierra mezclan grandes cantidades de potasio y fósforo en la zona radical, lo que favorece la labranza cero ya que esta incrementa el número de lombrices y la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Menor daño a las nuevas pasturas. La estructura más estable de los suelos con labranza cero permite una utilización más rápida de las nuevas pasturas por parte de los animales, con menor interrupción de las plantas durante las primeras etapas del pastoreo que cuando se ha utilizado la labranza.

Más tiempo disponible para la administración y la recreación. El tiempo destinado a la labranza puede ser ventajosamente dedicado a las actividades administrativas (o incluso para explotar más tierra) o para la recreación familiar.

Incremento de los rendimientos de los cultivos. Todos los factores citados anteriormente pueden mejorar los rendimientos de los cultivos a niveles superiores a

aquellos obtenidos por la labranza, pero solamente si el sistema y los procesos de labranza cero son ejecutados en su totalidad, sin limitaciones o deficiencias.

Expectativa de mejoramientos futuros. Los sistemas y los equipos modernos utilizados para la labranza cero han desmentido anteriores suposiciones de una depresión de los rendimientos a corto plazo para tener mayores ganancias a largo plazo. Las investigaciones en marcha y la experiencia han desarrollado sistemas que eliminan la depresión de los rendimientos a corto plazo y que al mismo tiempo aumentan la expectativa y la magnitud del incremento de los rendimientos a medio y largo plazo.

Desventajas

Riesgo de fracaso de los cultivos. * Cuando se usan herramientas o medidas de control de plagas y malezas inadecuadas para la labranza cero habrá un mayor riesgo de reducción de rendimiento o fracaso de los cultivos que con el sistema de labranza. Pero cuando en la labranza cero se utilizan herramientas más elaboradas y medidas correctas de control de plagas y malezas, los riesgos pueden ser menores que con la labranza.

Necesidad de tractores más grandes. * Si bien el total del insumo de energía se reduce sensiblemente cuando se cambia a labranza cero, la mayor parte de ese insumo se aplica en una sola operación de siembra la cual puede requerir un tractor de más potencia o más fuerza de tiro animal o, viceversa, una sembradora de menor tamaño.

Necesidad de nueva maquinaria. Como la labranza cero es una técnica relativamente nueva, deben ser adquiridos o arrendados equipos nuevos y diferentes.

Nuevos problemas de plagas y enfermedades.

* La ausencia de disturbio físico y la retención de los residuos en la superficie fa-

vorece algunas plagas y enfermedades y cambia el hábitat de otras. Sin embargo, tales condiciones también favorecen a sus predadores. Hasta la fecha no se han encontrado problemas de plagas o enfermedades insuperables o imposibles de tratar en los sistemas de labranza cero a largo plazo.

Los campos no se nivelan. La ausencia de disturbio físico previene el movimiento del suelo por las máquinas para nivelar y uniformizar el terreno. Esto pone cierta presión sobre los diseñadores de sembradoras para crear máquinas capaces de trabajar en superficies desniveladas. Algunas máquinas hacen un mejor trabajo que otras.

La resistencia del suelo puede variar dentro de un campo. La labranza sirve para crear una resistencia menor del suelo en todo el terreno. La labranza cero a largo plazo requiere máquinas capaces de ajustarse a las variaciones naturales de resistencia del suelo. Dado que esta resistencia del suelo establece cuáles son las fuerzas de penetración necesarias a los abresurcos para labranza cero, la resistencia variable del suelo exige diseños de las sembradoras acordes con la profundidad de siembra y para una buena cobertura de las semillas.

Los fertilizantes son más difíciles de incorporar. * En general, la incorporación de fertilizantes es más dificultosa al no ser enterrados por las máquinas, pero la incorporación específica en el momento de la siembra es posible y deseable, para lo que se usan diseños especiales de abresurcos para labranza cero.

La incorporación de los pesticidas es más dificultosa. Tal como ocurre con los fertilizantes, la incorporación de pesticidas, especialmente de aquellos que requieren una incorporación presiembrada al suelo, no es posible en la labranza cero, y son necesarias otras estrategias y formulaciones de control de plagas.

Alteración de los sistemas radicales. * Los sistemas radicales de los cultivos en labranza cero pueden ocupar menores volúmenes de suelo que con la labranza convencional, pero el total de biomasa y el funcionamiento de las raíces raramente son diferentes y su anclaje puede, en efecto, ser mejorado.

Alteración de la disponibilidad de nitrógeno. * Hay tres factores que afectan la disponibilidad de nitrógeno durante el desarrollo inicial de las plantas en la labranza cero:

- la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos del suelo puede bloquear temporalmente el nitrógeno, de modo que haya menos disponibilidad para las plantas;
- la labranza cero reduce la mineralización del nitrógeno orgánico del suelo que en cambio es liberado por la labranza;
- el desarrollo en el suelo de biocanales causados por las lombrices de tierra y las raíces da lugar a un flujo preferencial de los fertilizantes nitrogenados aplicados en superficie que pueden sobrepasar raíces jóvenes y raíces poco profundas.

Cada uno (o todos) de estos factores pueden crear una deficiencia del nitrógeno disponible para las plántulas, lo cual favorece la colocación del nitrógeno con la sembradora. Algunas sembradoras más avanzadas tienen la capacidad de colocar el nitrógeno en bandas, lo que soluciona este problema.

Uso de agroquímicos. * La labranza cero se respalda en herbicidas para el control de malezas lo que constituye un costo ambiental negativo; sin embargo, esto es superado por la reducción de la escorrentía superficial y de otros contaminantes químicos (entre ellos los fertilizantes aplicados en superficie) y por el hecho de que la mayoría de los productos agroquímicos

usados en la labranza cero es ambientalmente amigable. La agricultura en pequeña escala puede requerir más limpieza manual de malezas pero más fácilmente que en suelos labrados.

Cambio de las especies dominantes de malezas. * El control químico de las malezas tiende a ser selectivo respecto a las malezas resistentes a varias formulaciones lo que requiere un uso cabal de las rotaciones de cultivos y el compromiso de la industria agroquímica para la búsqueda de nuevas formulaciones.

Distribución restringida del fósforo del suelo. * El fósforo del suelo relativamente inmóvil tiende a distribuirse en bandas estrechas dentro de las capas superiores del suelo bajo labranza cero debido a la falta de mezclado con el suelo. El incremento de las poblaciones de lombrices ayuda a reducir este efecto y también recicla fuentes de nutrientes situadas por debajo de los niveles normales de labranza.

Es necesaria nueva capacitación técnica. * La labranza cero es una forma más precisa de agricultura y requiere aprender y ejecutar nuevas técnicas que no siempre son compatibles con las actitudes o conocimientos existentes para la labranza.

Mejor manejo y rendimiento de las máquinas. Hay una sola oportunidad en cada cultivo para «hacer las cosas bien». Dado que la siembra bajo labranza cero es literalmente una operación única, hay menos oportunidades para equivocarse en comparación con la secuencia de operaciones involucradas en la siembra con labranza convencional. Esto enfatiza la tolerancia de las sembradoras para labranza cero ajustada a los distintos niveles de capacidad del operador y su capacidad para funcionar efectivamente en condiciones subóptimas.

Es fundamental la selección de la sembradora en la labranza cero. * Pocos agricultores pueden permitirse poseer varias

sembradoras distintas para labranza cero en espera de las condiciones más adecuadas antes de seleccionar cuál es la recomendable para usar. Afortunadamente, las sembradoras para labranza cero más adelantadas pueden funcionar con seguridad en una amplia gama de condiciones, más que muchas de las herramientas para labranza convencional, por los que se puede confiar en una sola sembradora para labranza cero para condiciones muy variables en forma posible y práctica.

Disponibilidad de expertos. Hasta que los múltiples requerimientos específicos para una exitosa labranza cero sean completamente comprendidos por los «expertos», la calidad del asesoramiento a los técnicos de campo por parte de los consultores permanecerá siendo, por lo menos, variable.

Apariencia descuidada del campo. * Los agricultores que están acostumbrados a ver un campo «limpio» encuentran que los residuos sobre la superficie dejan un campo «sucio». Sin embargo, como aprecian las ventajas económicas de la labranza cero,

con el tiempo muchos agricultores comienzan a ver los residuos como un recurso importante y no como «basura».

*Eliminación de la «labranza recreativa».**

Algunos agricultores encuentran que manejar grandes tractores y labrar en gran escala es una actividad recreativa. Para ellos es una actividad obligatoria y saludable. Los agricultores en los países en desarrollo consideran la labranza como algo gravoso o imposible.

La Figura 1 muestra algunas de las tendencias probables a corto y largo plazo que podrían surgir como resultado de la conversión de la labranza convencional a labranza cero.

Cada elemento o proceso identificado progresa con el tiempo, desde el momento de la detención de la labranza y a medida que los efectos de la labranza cero empiezan a tener efecto. El resultado es que los efectos de la labranza cero se desarrollan a medida que cambian las características físicas y biológicas del suelo; estos procesos combinados han sido observados y documentados en casi todos los suelos y climas del mundo en tal forma

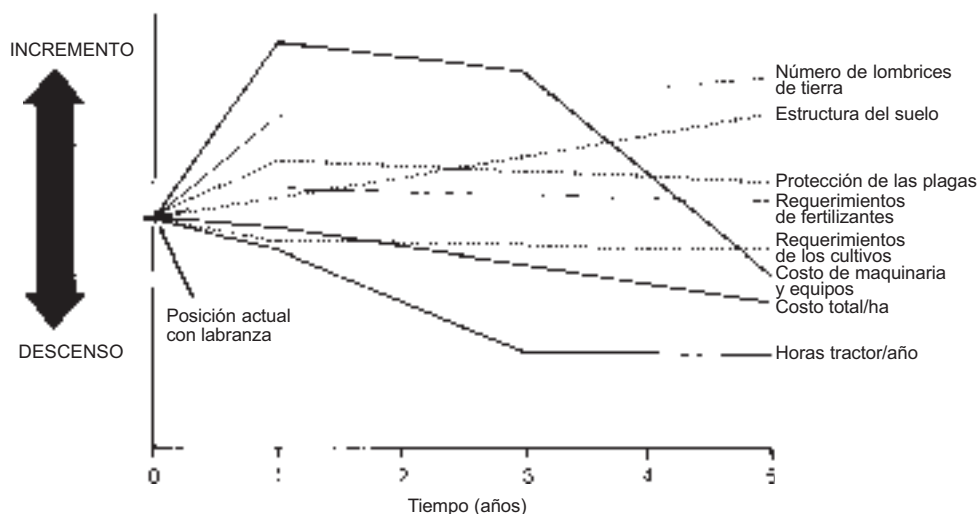


Figura 1 Tendencias probables a corto y largo plazo que podrían surgir como resultado de la conversión de la labranza convencional a la labranza cero (de Carter, 1994).

que ya son de conocimiento común. Es en esta etapa de transición que muchos de aquellos que se convierten a la labranza cero se desilusionan y se vuelven escépticos sobre los beneficios que podrían ocurrir.

Resumen de «¿qué?» y «¿por qué?»

La labranza cero es un cambio significativo en la metodología de la producción agrícola respecto a las prácticas existentes en los últi-

mos 100 años de mecanización agrícola. Intuitivamente se requiere un nuevo pensamiento por parte de los productores sobre «¿qué?» y «¿por qué?» cambiar el proceso. Solamente llevando a cabo el objetivo pleno de «¿por qué?» deberíamos avanzar con confianza a un exitoso sistema de producción de alimentos y para desarrollar «¿qué?» debería incorporarse un sistema moderno de labranza cero. Las ventajas a corto plazo sobrepasan las desventajas; a largo plazo significa nada menos que hacer que la producción mundial de alimentos sea sostenible por primera vez en la historia.

2

Los beneficios de la labranza cero

Don C. Reicosky y Keith E. Saxton

La labranza intensiva reduce y degrada la materia orgánica del suelo. La labranza cero fortalece la calidad del suelo y sostiene la agricultura a largo plazo.

Introducción

La producción sostenible de alimentos y fibras, en cualquier finca y región, requiere que los métodos de producción sean económicamente competitivos y ambientalmente amistosos. Para obtener estos resultados es necesario adoptar una tecnología de producción agrícola que no solamente beneficie a la producción sino que proporcione también un beneficio ambiental a largo plazo al suelo y a los recursos hídricos en los cuales está basado. Debemos reducir la contaminación y usar los recursos disponibles de acuerdo con la capacidad productiva de la tierra para una producción sostenible de alimentos y fibras.

La responsabilidad de la agricultura sostenible descansa en los agricultores responsables que deben mantener un delicado equilibrio entre las implicancias económicas de las prácticas agrícolas y las consecuencias ambientales de usar prácticas equivocadas. Esta responsabilidad incluye la producción de alimentos y fibras para satisfacer las necesidades del incremento de población y al mismo tiempo mantener el ambiente para ofrecer una

alta calidad sostenible de vida. El valor social de una comunidad agrícola no radica solo en su producción sino en producir en armonía con la naturaleza para mejorar el suelo, el agua y la calidad del aire y la biodiversidad biológica.

La sostenibilidad agrícola es un concepto muy amplio que requiere ser interpretado a nivel regional y local. Estos principios se encuentran en la definición de El-Swaify (1999): «La agricultura sostenible comprende el manejo exitoso de los recursos agrícolas a fin de satisfacer las cambiantes necesidades humanas y al mismo tiempo mantener o fortalecer la calidad del ambiente y la conservación de los recursos naturales».

La agricultura de conservación, especialmente la labranza cero (siembra directa), ha demostrado que proporciona una producción sostenible en muchos ambientes agrícolas, virtualmente en todo el mundo. Las condiciones de la producción agrícola y la intensidad de la misma varían desde húmedas a áridas y desde huertas familiares a grandes empresas ganaderas. Todas emplean y adaptan principios muy similares pero con variedad de máquinas, métodos y economía.

Los beneficios de la producción agrícola en un sistema de labranza cero son múltiples. Los amplios temas que se discuten aquí solo comienzan a proporcionar las bases científicas y los resultados de las experiencias de las últimas décadas de investigación y desarrollo

de este método de producción agrícola. Además del mejoramiento de la producción y de la protección del suelo y el agua, se agregan muchos otros beneficios. Por ejemplo, ahorra tiempo y dinero, aumenta las oportunidades de las fechas de siembra y cosecha, incrementa el potencial para hacer dos cultivos en el mismo año, conserva el agua del suelo al disminuir la evaporación, reduce los requerimientos de combustible, mano de obra y maquinaria y fortalece el ambiente en su conjunto.

Principios de la agricultura de conservación

La agricultura de conservación requiere la implementación de tres principios o pilares, como se ilustra en la Figura 2. A saber: i) mínimo disturbio del suelo por la ausencia de labranza; ii) distintas rotaciones de cultivos y cultivos de cobertura, y iii) cubierta continua

de residuos vegetales. El principal beneficio directo de la agricultura de conservación y de la siembra directa es un incremento de la materia orgánica y su impacto en los múltiples procesos que determinan la calidad del suelo. La base de estos tres principios es su contribución e interacciones con el carbono del suelo que es el primer determinante de la sostenibilidad de la calidad del suelo y de la producción agrícola a largo plazo.

La labranza de conservación incluye los conceptos de no labranza, labranza cero y siembra directa como la forma más avanzada de la agricultura de conservación. Estos términos a menudo se usan intercambiados para significar un mínimo disturbio del suelo. Los métodos reducidos de labranza, algunas veces citados como labranza de conservación, tales como la labranza en fajas, disturbian un pequeño volumen de suelo, mezclan los residuos con el suelo en forma parcial y tienen un efecto intermedio en sus efectos sobre la

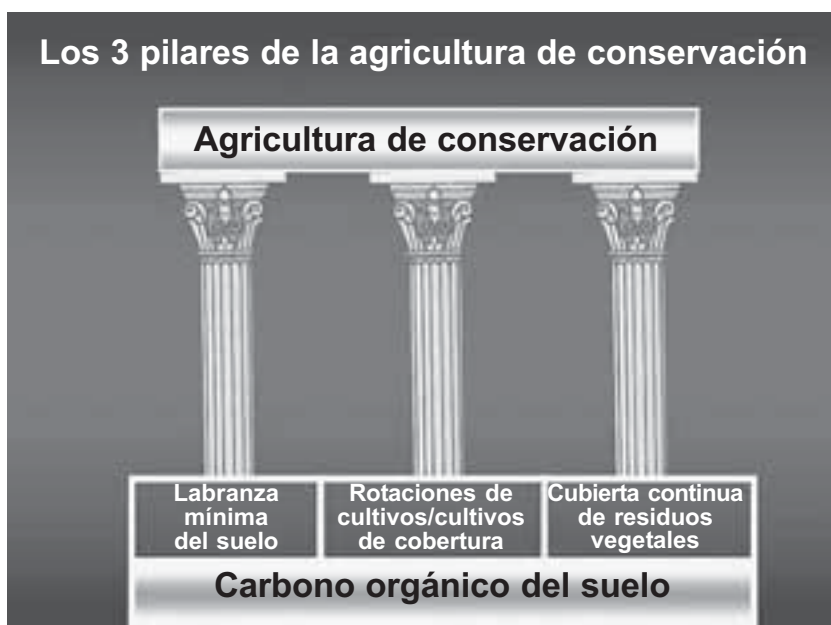


Figura 2 Representación esquemática de los tres pilares o principios de la agricultura de conservación apoyados por el carbono del suelo.

calidad del suelo. Estos términos definen el equipo de labranza y las operaciones características en relación con el volumen de suelo disturbado y el grado de mezcla del suelo y los residuos. Una inversión intensiva del suelo causada por la labranza, como la provocada por los arados de vertedera, las rastras de discos y ciertos tipos de labranza rotativa motorizada, no es una forma de labranza de conservación. La no labranza y la siembra directa son los métodos primordiales de la labranza de conservación para, aplicar los tres pilares de la agricultura de conservación y fortalecer el carbono del suelo, con los beneficios ambientales que ello conlleva.

La verdadera conservación del suelo está en gran parte relacionada con la materia orgánica, por ejemplo, carbono y manejo. Solo por el hecho de manejar adecuadamente el carbono en los recursos de los ecosistemas agrícolas es posible llegar a menos erosión, menos contaminación, agua limpia, aire fresco, suelo naturalmente fértil, mayor productividad, créditos de carbono, belleza panorámica y sostenibilidad. La dinámica de la calidad del suelo abarca aquellas propiedades que pueden cambiar en períodos relativamente cortos tales como la materia orgánica, la estructura del suelo y la macroporosidad. Estos elementos pueden ser fácilmente influenciados por las acciones humanas de uso y manejo dentro de las prácticas agrícolas seleccionadas. La materia orgánica del suelo es particularmente dinámica, con insumos de materiales vegetales y pérdidas por descomposición.

Beneficios para la producción de cultivos

Producir un cultivo y obtener un beneficio económico son objetivos universales de la agricultura. La producción que aplica los métodos de la labranza cero no difiere de esos objetivos, pero en este caso hay beneficios definidos que se discuten en este capítulo. Esos

beneficios ocurren solamente cuando la labranza cero es exitosa. Hay ciertamente obstáculos y riesgos al abandonar la labranza tradicional que ha sido la base de la tecnología durante siglos, como se señala en el Capítulo 3.

Una producción aceptable de cultivos requiere una adecuada población de plantas, buena nutrición y humedad con correcta protección contra la competencia de las malezas, insectos o plagas. Obtener una adecuada población de plantas en suelos con labranza cero y cubiertos con residuos es el primer obstáculo importante, un desafío particular en la moderna agricultura mecanizada, pero que es realmente superable, tal como se explica en este texto. El hecho de proporcionar adecuada nutrición y agua para explotar todo el potencial del cultivo es fácilmente alcanzable con los beneficios de la labranza cero, como se discute más adelante.

Necesariamente, los métodos de control de malezas cambian a la dependencia de los herbicidas, quema de las malezas, rotura mecánica o remoción manual, a fin de que la labranza cero sea completa y tenga lugar con el objetivo de respetar el disturbio mínimo de suelo. El desarrollo de los productos agroquímicos en las últimas décadas ha hecho grandes avances en su efectividad, en ser ambientalmente amigables y económicamente viables. Pero además, técnicas suplementarias como el corte, el paso de rodillos y la rotura de las malezas sin disturbar el suelo, se están demostrando como una significativa promesa para reducir la presencia de malezas e incrementar el beneficio de los cultivos de cobertura y de los residuos. La experiencia ha demostrado que el control de insectos y enfermedades ha sido un problema menor en el caso de la labranza cero, aún cuando ha habido deplorables predicciones acerca del potencial impacto de los residuos para albergar problemas indeseables. Como ocurre con las malezas, la sanidad de los cultivos y los problemas de las plagas probablemente no puedan ser evitados, pero pueden cambiar a nuevas

especies y variedades con el cambio de ambiente de los campos.

Como resultado de esta evolución y la dedicación al tema se ha repetidamente demostrado que la producción de cultivos puede ser igualada o excedida por la labranza cero comparada con los métodos tradicionales de labranza. Dado que muchos suelos han sido labrados durante muchos años, no es raro encontrar alguna reducción de los rendimientos en los primeros años de labranza cero, debido sobre todo a que el suelo necesita cierto tiempo para reconstruirse y mejorar su calidad. Este «período de transición de la reducción» puede incluso ser superado con un incremento de la fertilidad, una fertilización estratégica en bandas con abresurcos y una cuidadosa selección de los cultivos.

El mayor beneficio de la labranza cero surge de la disminución de los insumos. El más evidente es la reducción de las necesidades de mano de obra y de las horas necesarias de maquinaria para establecer y mantener los cultivos. Los menores costos de la maquinaria también son significativos dado que se puede prescindir del equipo de labranza. La verdadera producción con labranza cero requiere solo una asperjadora eficiente, una sembradora fertilizadora y la cosechadora.

Al no ser necesaria la preparación de la cama de semillas por medio de la labranza, la siembra de las semillas se ha convertido en la principal limitante a los esfuerzos hechos para cambiar exitosamente a la labranza cero. La modificación de las sembradoras usadas en el sistema de labranza no ha sido en general exitosa dando lugar a poblaciones de plantas inadecuadas para una óptima producción. Muchas de estas máquinas no fueron equipadas para hacer una fertilización simultánea en bandas, por lo que fue necesario proporcionar una máquina adicional para labranza mínima o, en el peor de los casos, aplicar el fertilizante en forma superficial, situación en la que es ineficiente y estimula el crecimiento de las malezas. Afortunadamente, se han de-

sarrollado nuevas sembradoras que ofrecen una siembra aceptable pero, como se describe en capítulos posteriores, muchas de ellas aún no satisfacen los atributos deseables, especialmente en lo que se relaciona con la cantidad de disturbio de suelo que causan.

Como resultado de los desarrollos científicos y técnicos de los últimos años, la producción de cultivos con el sistema de labranza cero no solo es viable sino que además presenta numerosos beneficios económicos. Combinar y multiplicar este resultado con los beneficios adicionales de mejora de la calidad del suelo y del ambiente hace que la labranza cero sea un método altamente deseable de producción agrícola. Más aún, muchos agricultores están encontrando ahora beneficios personales y sociales originados en la reducción del insumo de mano de obra ya que liberan gran parte del tiempo y trabajo pesado de las actividades agrícolas tradicionales. Una opinión común de agricultores que aplican el sistema de labranza cero es que «... la actividad agrícola ha vuelto a ser nuevamente algo atractivo...»

Incremento de la materia orgánica

El hecho de comprender la función de la materia orgánica del suelo y la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas ha aclarado el valor y la importancia de varios procesos que mantienen y satisfacen las necesidades humanas. La materia orgánica del suelo es valiosa por su influencia sobre los organismos del suelo y puede ser llamada «oro negro» en razón de sus funciones vitales sobre las propiedades y los procesos físicos, químicos y biológicos dentro del sistema del suelo.

Los cambios de esas propiedades básicas del suelo, o «servicios del ecosistema», son los procesos por los cuales el ambiente produce recursos que sostienen la vida y que, por lo general, son considerados con indiferencia. Un ecosistema es una comunidad de animales

y plantas que interactúan con el ambiente físico. Los ecosistemas incluyen componentes físicos, químicos y biológicos tales como el suelo, el agua y los nutrientes que apoyan la vida de los organismos que viven dentro del mismo, entre ellos el ser humano. Los servicios del ecosistema agrícola incluyen la producción de alimentos, fibras y combustibles biológicos, la provisión de aire y agua limpios, la fertilización natural, el reciclaje de nutrientes en los suelos y muchos otros servicios fundamentales de apoyo a la vida. Estos servicios pueden ser fortalecidos incrementando la cantidad de carbono almacenado en los suelos.

La agricultura de conservación, por medio de su impacto sobre el carbono del suelo, es la mejor forma de fortalecer los servicios del ecosistema. Análisis recientes han estimado los beneficios de la economía nacional y global de los servicios del ecosistema sobre la formación de suelo, la fijación de nitrógeno, la descomposición de la materia orgánica, el biocontrol de las plagas, la polinización y

muchos otros. Las prácticas intensivas de manejo causan daños o pérdidas a los servicios del ecosistema porque cambian procesos como el reciclaje de los nutrientes, la productividad y la biodiversidad de las especies (Smith *et al.*, 2000). El carbono cumple una función básica en la armonía de los ecosistemas al proporcionar esos servicios.

El carbono del suelo es el principal factor para mantener un equilibrio entre los factores económicos y ambientales. Su importancia puede ser representada por el cubo central de la rueda de un vagón, un símbolo de fortaleza, unidad y progreso (Reicosky, 2001a). Los radios de esta rueda en la Figura 3 representan mayores enlaces del carbono del suelo que conducen al mejoramiento del ambiente que apoya la total sostenibilidad del recurso suelo. Muchos radios conforman una rueda fuerte. Cada uno de los beneficios secundarios que emanan del carbono del suelo contribuye al fortalecimiento del ambiente por medio de un mejor manejo del carbono. Soane (1990)



Figura 3 Rueda de la sostenibilidad ambiental con beneficios que emanan de la función central del carbono del suelo.

analizó varios aspectos prácticos del carbono del suelo importantes para el manejo del suelo. Algunos de los radios de la rueda de la sostenibilidad ambiental se describen en los párrafos siguientes.

El carbono del suelo disminuye como consecuencia de la agricultura intensiva y la reversión de la tendencia de ese proceso de disminución, por medio de una menor intensidad de labranza, beneficia la agricultura sostenible y la población de todo el mundo al ganar control del equilibrio de carbono a nivel universal. La literatura contiene numerosas evidencias de que la labranza intensiva reduce el carbono del suelo y apoya una mayor adopción de nuevas y mejores formas de labranza cero para preservar o mejorar el almacenamiento de la materia orgánica del suelo (Paustian *et al.*, 1997a,b; Lal *et al.*, 1998). Los beneficios ambientales y económicos de la agricultura de conservación y de la labranza cero demandan su consideración para el desarrollo de mejores prácticas de almacenamiento del carbono del suelo y para una producción agrícola sostenible.

Incremento de la disponibilidad de agua en el suelo

El incremento de la materia orgánica del suelo tiene un efecto significativo sobre el manejo del agua del suelo en razón de un aumento de la infiltración y de la capacidad de retención de agua. Esta mayor capacidad de retención de agua es el resultado del incremento de la materia orgánica del suelo el cual absorbe humedad más rápidamente y la libera más lentamente a lo largo de la estación lo que minimiza el impacto de sequías cortas. Hudson (1994) demostró que, en algunas texturas de suelo, por cada 1 por ciento de incremento de peso de la materia orgánica del suelo, la capacidad de retención de agua disponible en el suelo aumentó en 3,7 por ciento. Si otros factores se mantienen iguales,

los suelos que contienen más materia orgánica pueden retener más agua de cada evento de lluvia y ponerla a disposición de las plantas. Este factor, y el incremento de la infiltración con mayor contenido de materia orgánica y una menor evaporación con los residuos de los cultivos en la superficie, contribuyen en su conjunto a mejorar la eficiencia del uso del agua.

Es sabido que el incremento de la materia orgánica aumenta la capacidad de infiltración y la capacidad de retención de agua del suelo, lo cual afecta significativamente el manejo del agua del suelo. Bajo esas situaciones, los residuos de los cultivos reducen la velocidad del agua de escorrentía e incrementan la infiltración por los canales hechos por las lombrices de tierra, los macroporos y los huecos dejados por las raíces de las plantas (Edwards *et al.*, 1988). La infiltración es de dos a diez veces más rápida en suelos con lombrices de tierra que sin ellas (Lee, 1985).

La materia orgánica del suelo contribuye a la agregación de sus partículas lo que facilita el movimiento del agua a través del suelo y permite que las plantas usen menos energía para establecer el sistema radical (Chaney y Swift, 1984). La labranza intensiva rompe la estructura del suelo y da lugar a un suelo compacto y, como consecuencia, las plantas tienen un difícil acceso a los nutrientes y al agua necesarios para su crecimiento y producción. La agricultura con labranza cero o labranza mínima permiten que el suelo se reestructure y acumule materia orgánica para mejorar la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas.

Reducción de la erosión del suelo

Las prácticas de manejo de los residuos de los cultivos han incluido numerosas prácticas agrícolas para reducir la erosión del suelo por escorrentía y la sedimentación en otros lugares. Los suelos con un contenido relativamente alto de carbono, especialmente con residuos

de cultivos en la superficie, incrementan en forma muy efectiva la materia orgánica del suelo y reducen la erosión. La función primaria de la materia orgánica para disminuir la erosionabilidad del suelo es estabilizar los agregados superficiales al reducir la formación de costras y del sellado superficial, lo que da lugar así a menos escorrentía (Le Bissonnais, 1990). La reducción o la eliminación de la escorrentía que arrastra sedimentos de los campos a las corrientes de agua es un fortalecimiento importante de la calidad ambiental. Bajo esas situaciones, los residuos de cultivos actúan como minúsculas represas que reducen la velocidad de la escorrentía en los campos y conceden más tiempo al agua para embeber el suelo.

Los residuos de los cultivos sobre la superficie no solamente retienen las partículas de suelo en el lugar sino que mantienen en el campo los nutrientes y pesticidas asociados. La capa superficial de materia orgánica minimiza la escorrentía de los herbicidas: con la labranza de conservación la percolación de los herbicidas puede ser reducida a la mitad (Braverman *et al.*, 1990).

El incremento de la materia orgánica del suelo y los residuos de cultivos sobre la superficie reducen significativamente la erosión eólica (Skidmore *et al.*, 1979). Dependiendo de la cantidad de residuos que quedan sobre la superficie del suelo, la erosión del suelo puede ser reducida a casi nula, comparada con aquella de la tierra sin protección e intensamente labrada. La erosión eólica o hídrica causan la degradación del suelo hasta llegar a la declinación de la producción de los cultivos.

Papendick *et al.* (1983) informaron de que la capa superior de suelo de la cima de muchas colinas había sido eliminada por la erosión favorecida por la labranza en la región de Palouse, en el Pacífico noroeste de los Estados Unidos de América. Los arados de vertedera fueron identificados como los principales responsables, pero todos los implementos de labranza contribuyen a este problema (Groves *et al.*,

1994; Lobb y Kachanoski, 1999). El desplazamiento del suelo por medio de este tipo de arado puede ser mayor que los niveles de tolerancia de pérdida de suelo (Lindstrom *et al.*, 1992; Groves *et al.*, 1994; Lobb *et al.*, 1995, 2000; Poesen *et al.*, 1997). El suelo no se pierde directamente del campo por el desplazamiento causado por la labranza sino que es movido de su posición en las partes convexas de las pendientes y depositado en posiciones cóncavas entre esas colinas.

Lindstrom *et al.* (1992) demostraron que el movimiento del suelo en una pendiente convexa en el sudoeste de Minnesota, Estados Unidos de América, podía dar lugar a una pérdida sostenida de suelo de aproximadamente 30 t/ha/año a causa del uso de arado de vertedera. Lobb *et al.* (1995) estimaron las pérdidas de suelo de una ladera en el sudoeste de Ontario, Canadá, en 54 t/ha/año después de una secuencia de arado de vertedera, discos en tándem y cultivador con diente en C. En este caso, la erosión de la labranza, estimada por el cesio-137 residente, llegó al 70 por ciento de las pérdidas totales. El efecto neto del desplazamiento del suelo a causa de los efectos combinados de la labranza y la erosión hídrica es un incremento de la variabilidad espacial de rendimiento de los cultivos y un probable descenso en el carbono del suelo relacionado con una menor productividad del suelo (Schumacher *et al.*, 1999).

Fortalecimiento de la calidad del suelo

La calidad del suelo es el elemento fundamental para la calidad del ambiente. En su mayor parte es gobernada por el contenido de materia orgánica del suelo; este es dinámico y responde efectivamente a los cambios en el manejo del suelo, la labranza y la producción de cultivos. El mantenimiento de la calidad del suelo puede reducir los problemas de degradación de la tierra, disminución de la fertilidad

del suelo y niveles de producción en rápido descenso como ocurre en muchas partes del mundo que no aplican los principios básicos de buenas prácticas agrícolas.

La compactación del suelo en la labranza conservacionista se reduce en forma sensible al disminuir el tráfico y aumentar la materia orgánica del suelo (Angers y Simard, 1986; Avnimelech y Cohen, 1988). Soane (1990) presentó varios mecanismos por los cuales la materia orgánica del suelo puede afectar la compactabilidad del suelo:

1. Mejor unión interna y externa de los agregados del suelo.
2. Mayor elasticidad del suelo y capacidad de recuperación.
3. Menor densidad debido a la mezcla de residuos orgánicos con la matriz del suelo.
4. Existencia temporal o permanente de redes de raíces.
5. Cambio localizado de cargas eléctricas de las superficies de las partículas de suelo.
6. Cambio en la fricción interna del suelo.

Si bien la mayor parte de la compactación del suelo ocurre durante el primer paso de un vehículo sobre el campo labrado, los menores requerimientos de peso y fuerza asociados con la labranza cero pueden también minimizar la compactación. El tráfico adicional requerido por tareas intensivas de labranza empeora la situación al romper la estructura del suelo. El mantenimiento de la materia orgánica del suelo contribuye a la formación y estabilización de su estructura. Los beneficios físicos y biológicos combinados de la materia orgánica del suelo pueden minimizar el efecto de la compactación causada por el tráfico y dar como resultado un mejor cultivo.

Generalmente se acepta que la labranza produce un suelo bien fracturado, algunas veces con varias operaciones de labrado, pero es un error conceptual entender que este es un suelo bien agregado y sano. Estos suelos nunca tienen una buena evaluación cuando son juzgados siguiendo los conocimientos modernos

de calidad del suelo. Un suelo labrado está pobremente estructurado, no contiene microorganismos y tiene pobres características hídricas, solo por citar algunos elementos. A medida que los suelos son explotados sin labranza y se les proporcionan residuos, mejoran naturalmente su calidad general, otra vez albergan microorganismos y se vuelven blandos hasta ser fácilmente penetrados por las raíces y las lombrices de tierra. Esta transición requiere varios años pero ocurre siempre que se le ofrezca la oportunidad.

Muchos agricultores tradicionales experimentados a menudo preguntan: «¿Cuántos años de labranza cero son posibles antes de que el suelo se vuelva tan compacto que necesite labranza?». La experiencia de la labranza cero ha mostrado exactamente el efecto opuesto: una vez que un suelo no labrado ha readquirido su calidad continuará a resistir la compactación y cualquier labranza subsiguiente causará un daño indebido. Muchos suelos continuarán aumentando el contenido de materia orgánica y mejorarán los criterios de calidad durante años bajo labranza cero hasta que la secuencia no se rompa por el efecto destructivo de la labranza.

Mejor reciclaje de los nutrientes

El mejor cultivo del suelo, el fortalecimiento de la estructura y la estabilidad de los agregados favorecen el intercambio de gases y la aireación necesarios para el reciclaje de los nutrientes (Chaney y Swift, 1984). El manejo crítico del flujo de aire en el suelo, con la mejor estructura y labranza, es necesario para el funcionamiento óptimo de las plantas. Es la combinación de muchos factores que dan como resultado beneficios ambientales completos basados en el manejo de la materia orgánica del suelo. Los múltiples atributos sugieren nuevos conceptos sobre cómo se debería manejar el suelo para la estabilidad y la sostenibilidad de los agregados a largo plazo.

La adsorción o intercambio de iones es una de las funciones más importantes del reciclaje de nutrientes de los suelos. La capacidad de intercambio de cationes es la cantidad de sitios de intercambio que pueden adsorber y liberar cationes nutrientes. La materia orgánica del suelo puede incrementar esta capacidad del suelo del 20 al 70 por ciento más en los minerales arcillosos y los óxidos metálicos presentes. De hecho, Crovetto (1996) demostró que la contribución de la materia orgánica del suelo al intercambio de cationes excedió a la del mineral arcilloso (caolinita) en los cinco centímetros superficiales del suelo. Robert (1996), en un suelo experimental, demostró que hubo una fuerte relación lineal entre el carbono orgánico y la capacidad de intercambio de cationes. Esta capacidad se incrementó cuatro veces, con un aumento del carbono orgánico del 1 al 4 por ciento. La toxicidad de otros elementos puede ser inhibida por la materia orgánica del suelo que tiene la capacidad de adsorber compuestos químicos solubles. La adsorción de la materia orgánica del suelo por los minerales arcillosos es un medio importante por el cual los nutrientes de las plantas son retenidos en la zona radical de los cultivos.

El incremento de la infiltración y los problemas del uso del nitrógeno en la agricultura de conservación requieren la comprensión de los factores biológicos, físicos y químicos que controlan las pérdidas de nitrógeno y los impactos contrastantes de las prácticas de producción sobre la lixiviación de los nitratos de los agroecosistemas. Domínguez *et al.* (2004) evaluaron la lixiviación del agua y el nitrógeno en parcelas con varias poblaciones de lombrices de tierra en un sistema de producción de maíz. Encontraron que el flujo total de nitrógeno en los lixiviados del suelo fue 2,5 veces mayor en las parcelas con mayor población de lombrices de tierra que en aquellas con menores poblaciones. Los resultados son dependientes de la cantidad de lluvia pero indican que las lombrices de tierra pueden incrementar la lixiviación del agua y del ni-

trógeno inorgánico a mayores profundidades del perfil, e incrementar potencialmente la lixiviación del nitrógeno del sistema. Las pérdidas por lixiviación fueron menores en parcelas con fertilización orgánica, lo que fue atribuido al mayor potencial de inmovilización.

Menores requerimientos de energía

La energía es necesaria para todas las operaciones agrícolas. La agricultura intensiva moderna requiere un mayor insumo de energía que los métodos tradicionales ya que se respalda en los combustibles fósiles para la labranza, el transporte, el secado de los granos y la fabricación de fertilizantes, pesticidas y equipos usados para aplicar los insumos y para generar la electricidad usada en las fincas (Frye, 1984). Menores costos de mano de obra y de maquinaria son consideraciones económicas dadas frecuentemente como razones para usar las prácticas de labranza de la agricultura de conservación.

Las prácticas que requieren menor insumo de energía tales como la labranza cero, en comparación con la labranza convencional, por lo general necesitan menor consumo de combustible y, por lo tanto, disminuyen las emisiones de CO₂ hacia la atmósfera por unidad de tierra cultivada. Las emisiones de CO₂ de la agricultura son generadas por cuatro fuentes primarias: manufactura y uso de maquinaria para la labranza, producción y aplicación de fertilizantes y pesticidas, el carbono orgánico del suelo que es oxidado a causa del disturbio del suelo —el cual, a su vez, depende en gran medida de las prácticas de labranza— y la energía necesaria para el riego y el secado de granos.

Una parte dinámica del reciclaje del carbono en el suelo en la agricultura de conservación está directamente relacionada con el ciclo «biológico del carbono» que es diferente del ciclo del «carbono fósil». La captura de carbono fósil supone la captura y almacenamiento

de carbono combustible fósil antes de que sea liberado a la atmósfera. La captura del carbono biológico supone la captura de carbono de la atmósfera por parte de las plantas. Los combustibles fósiles (carbono fósil) son geológicamente muy antiguos, cerca de 200 millones de años. Los biocombustibles (biocarbono) son geológicamente muy jóvenes y pueden variar de uno a 10 años de edad y, como resultado, pueden ser efectivamente manejados para un mejor reciclaje del carbono. Un ejemplo del reciclaje del carbono biológico es la producción agrícola de biomasa para combustibles. La principal fortaleza de los biocombustibles es el potencial para reducir las emisiones netas de CO₂ hacia la atmósfera. El mejor manejo del carbono en la agricultura de conservación hace que sea posible capturar CO₂ liberado por el reciclaje del carbono fósil y transferirlo al ciclo del carbono biológico para contribuir a la producción de alimentos, fibras y biocombustibles usando, por ejemplo, fertilizante de gas natural para la producción agrícola.

West y Maryland (2002) hicieron un análisis del carbono y la energía como insumo agrícola en base a estimaciones del flujo neto de carbono para tres tipos de cultivos en tres intensidades de labranza. El análisis incluyó estimaciones del uso de energía y de emisiones de carbono para combustibles primarios, electricidad, fertilizantes, cal, pesticidas, riego, producción de semillas y maquinaria agrícola. Estimaron que las emisiones netas de CO₂ para la producción de cultivos con prácticas de conservación, reducidas y labranza cero fueron, respectivamente, de 72, 45 y 23 kg/carbono/ha/año.

Los valores totales de las emisiones de carbono fueron usados junto con las estimaciones de captura de carbono para modelar el flujo neto de carbono hacia la atmósfera en el tiempo. En base a los promedios de los insumos de los cultivos en los Estados Unidos de América, las operaciones agrícolas con labranza cero emitieron menos CO₂ que la la-

branza convencional, con 137 y 168 kg/carbono/ha/año, respectivamente. El efecto de los cambios en el uso de los combustibles fósiles fue el factor dominante 40 años después de la conversión a la labranza cero.

El análisis de esos datos sugiere que, en promedio, un cambio de la labranza convencional a la labranza cero dará como resultado la captura de carbono en el suelo y un ahorro de emisiones de CO₂ del uso de energía en la agricultura. Si bien el fortalecimiento de la captura de carbono tiene un límite de tiempo hasta que se alcance un nuevo equilibrio, la reducción en el flujo neto de CO₂ hacia la atmósfera, causado por la reducción en el uso de combustible fósil, puede continuar indefinidamente siempre que se continúen las prácticas alternativas.

Lal (2004) recientemente presentó una síntesis del uso de la energía en las operaciones agrícolas y su conversión en equivalentes de carbono (CE). La ventaja más importante de expresar el uso de energía en términos de emisión de carbono como kg CE se basa en su relación directa con la tasa de enriquecimiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. Las operaciones analizadas fueron prácticas agrícolas de uso intensivo de carbono que incluyeron la labranza, el asperjado de pesticidas, la siembra, la cosecha, la fabricación de fertilizantes, cal, pesticidas y riego. Las emisiones para diferentes métodos de labranza fueron de 35,3, 7,9 y 5,8 kg/CE/ha para labranza convencional, labranza con subsoladores o labranza mínima y métodos sin labranza de preparación de la cama de semillas, respectivamente.

Las operaciones de labranza y cosecha insumen la mayor proporción de consumo de combustible dentro de los sistemas de agricultura intensiva. Frye (1984) encontró que los requerimientos de combustible si se usaba la labranza reducida o los sistemas de labranza cero eran 55 y 78 por ciento, respectivamente, de aquellos usados por los sistemas convencionales que incluían el uso de arados de verte-

dera. En relación con el área, la conversión de la labranza convencional a la labranza cero resultó en una economía de 23 kg/ha/año de carbono como forma de energía. Esto significa, para los 186 millones de hectáreas cultivadas en los Estados Unidos de América, un potencial de reducción de las emisiones de carbono de 4,3 millones de toneladas métricas de carbono equivalente (MMTCE)/año.

Estos resultados justifican aún más la eficiencia de la energía y sus beneficios por medio de la labranza cero. La conversión de la labranza a la labranza cero usando prácticas de manejo integrado de nutrientes y de manejo de plagas y fortaleciendo la eficiencia del uso del agua, puede ahorrar emisiones de carbono y al mismo tiempo incrementar el carbono del suelo. Por lo tanto, la adopción de técnicas de agricultura de conservación es un enfoque universal del manejo del suelo y los recursos de agua. La agricultura de conservación mejora la eficiencia y favorece la productividad por unidad de energía en base carbono consumida y es una estrategia sostenible.

Emisiones y secuestro de carbono

La labranza o preparación del suelo ha sido una parte integral de la producción agrícola tradicional. Los fragmentos de la labranza inician el proceso de liberación de los nutrientes del suelo para el crecimiento de las plantas, matan las malezas y modifican la circulación del agua dentro del suelo. La labranza intensiva acelera la pérdida de carbono del suelo y las emisiones de gases de invernadero, lo que tiene un serio impacto sobre la calidad ambiental.

Minimizando la labranza del suelo y las emisiones de CO₂ asociadas, el incremento global de bióxido de carbono atmosférico puede ser reducido mientras que al mismo tiempo se incrementan los depósitos de carbono (captura) y se fortalece la calidad del suelo.

El mejor sistema de manejo del suelo involucra su disturbio mínimo y se enfoca en el manejo adecuado de los residuos para ese lugar geográfico, dadas las consideraciones económicas y ambientales. Son necesarios experimentos y ensayos de campo para que cada región desarrolle conocimientos y métodos adecuados para una aplicación óptima de la agricultura de conservación.

Puesto que el CO₂ es el producto final de la descomposición de la materia orgánica del suelo, la labranza intensiva, especialmente con arado de vertedera, libera grandes cantidades de CO₂ como resultado de la disrupción física y la intensificación de la oxidación biológica (Reicosky *et al.*, 1995). Con la labranza de conservación, los residuos de los cultivos quedan naturalmente sobre la superficie para proteger el suelo y controlar la conversión del carbono de las plantas en materia orgánica del suelo y humus. La labranza intensiva libera el carbono del suelo hacia la atmósfera como CO₂ donde se puede combinar con otros gases para causar el efecto de invernadero.

Los suelos almacenan carbono durante largos períodos como materia orgánica estable. Los sistemas naturales alcanzan un equilibrio del nivel de carbono determinado por el clima, la textura del suelo y la vegetación. Cuando los suelos nativos son disturbados por la labranza del suelo, grandes cantidades de carbono se oxidan y se liberan como CO₂ (Allmaras *et al.*, 2000). Duxbury *et al.* (1993) estimaron que la agricultura ha contribuido con el 25 por ciento de las emisiones históricas de CO₂ generado por el hombre durante los últimos dos siglos. Sin embargo, una parte significativa de este carbono puede ser almacenado o capturado por los suelos manejados sin labranza y otras técnicas de bajo disturbio del suelo. La captura de carbono puede favorecer un incremento de la producción vegetal mayor que el nivel de los suelos nativos en los que se añaden fertilizantes y riego.

El carbono es un valioso recurso ambiental en todas las aplicaciones industriales de

producción y consumo de energía fósil. La liberación de carbono a la atmósfera por los procesos energéticos puede ser superada por la captura de carbono con la biomasa de las plantas y subsecuentemente por la captura del carbono bajo forma de materia orgánica. Los consumidores de energía pueden al mismo tiempo ser solicitados a compensar por sus emisiones de carbono a la atmósfera contratando con aquellos que pueden capturar carbono atmosférico. La agricultura de conservación puede ser capaz de proporcionar este beneficio de la captura y así ser compensados por su función en el mantener bajas las emisiones netas de carbono. Si bien este mecanismo de «negociación de carbono» está aún en discusión, presenta un importante beneficio potencial.

Una explicación más detallada de las emisiones de bióxido de carbono se encuentra en el Capítulo 17, junto con comentarios sobre cómo estas interactúan con el óxido nítrico y con las emisiones de metano y el potencial para la negociación de carbono.

Resumen de los beneficios de la labranza cero

La labranza de conservación y especialmente la labranza cero tienen una atracción universal en razón de los numerosos beneficios

que presenta. El mejoramiento de la producción con menos insumos y una reducción de tiempo y energía son citados a menudo como los puntos más destacados. Las técnicas de agricultura de conservación benefician a los agricultores y a la sociedad en su conjunto y pueden ser consideradas como «la alimentación y el reverdecimiento del mundo» para una sostenibilidad global. Son necesarias políticas agrícolas para estimular a los agricultores a mejorar la calidad del suelo almacenando carbono como materia orgánica del suelo, lo cual también conducirá a mejorar la calidad del aire y del agua y la productividad y ayudará a mitigar el efecto invernadero.

Algunos de los beneficios más importantes de la labranza de conservación son:

1. Mejoramiento económico de la producción agrícola.
2. Incremento de la materia orgánica del suelo.
3. Mejoramiento de la calidad del suelo.
4. Reducción de los requerimientos de mano de obra.
5. Menores costos de maquinaria.
6. Menor consumo de combustibles fósiles.
7. Menor escorrentía y más disponibilidad de agua para las plantas.
8. Reducción de la erosión del suelo.
9. Incremento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
10. Mejoramiento del ambiente a nivel global.

3

La naturaleza del riesgo en la labranza cero

C. John Baker, W. (Bill) R. Ritchie y Keith E. Saxton

La decisión final para adoptar el sistema de labranza cero estará relacionada sobre todo con la forma en que los agricultores perciban la alteración de los riesgos de sus actividades.

Los riesgos asociados con la labranza cero son aquellos que surgen de una reducción de los ingresos del agricultor a causa de un mal rendimiento de los cultivos y/o de mayores costos. Para ser una técnica sostenible, el riesgo de la labranza cero no debe ser mayor, y preferiblemente menor, a aquel de la labranza (Baker, 1995).

Si bien los primeros comentarios escépticos sobre la labranza cero indicaron muchos y variados problemas que conducirían en último grado al abandono de esa práctica, la experiencia ha demostrado que en muchas circunstancias no existieron obstáculos insuperables. Sin embargo, es un hecho que muchos agricultores son aún reacios a intentar la nueva técnica porque temen que pueda incrementar los riesgos de fracaso de los cultivos o de una reducción de los rendimientos.

La percepción del riesgo es probablemente el mayor factor individual que gobierna la adopción de la labranza cero y es probable que continúe siéndolo por un cierto tiempo. Solamente la educación y las experiencias personales pondrán fin a la perspectiva del riesgo. Los últimos resultados muestran de

manera convincente que la labranza cero no es inherentemente más riesgosa que la labranza convencional, incluso a corto plazo. Indudablemente, puede reducir el factor de riesgo durante el establecimiento del cultivo, si es llevada a cabo y manejada en forma correcta. Por supuesto, la labranza también está sujeta a mayores riesgos si es sometida a un mal manejo; es, por lo tanto, pertinente explorar el concepto de riesgo durante el establecimiento y crecimiento del cultivo y explicar como este es afectado por buenas prácticas de labranza cero.

¿Cuál es la naturaleza del riesgo en la labranza cero?

Para sembrar y obtener un cultivo con labranza cero el agricultor asume un riesgo económico que es afectado por tres categorías funcionales de riesgos: i) biológico; ii) físico, y iii) químico. Estos riesgos son comparables entre los sistemas de labranza convencional y de labranza cero porque casi todos son riesgos cotidianos en la labor agrícola. Solo los niveles relativos y las soluciones difieren entre las dos técnicas. Los efectos combinados de los riesgos funcionales dan lugar a riesgos económicos y los resultados e implicancias asociadas son algunas veces sorprendentes y se analizan al final de este capítulo.

Riesgos biológicos

Los riesgos biológicos surgen de las pestes, las toxinas, las enfermedades, el vigor de las semillas, el vigor de las plántulas, el estrés de nutrientes y, en último grado, del rendimiento del cultivo. El cambio a la agricultura con residuos, que es la base de la labranza cero, en general puede tener un marcado efecto sobre la incidencia de las plagas y enfermedades, tanto positiva como negativamente. La colocación de la semilla y el disturbio del suelo y los residuos por distintos diseños de abresurcos y sembradores puede tener influencia sobre todos esos factores.

Pestes

El cambio en la población de lombrices de tierra y babosas crea los problemas más comunes de pestes en la labranza cero. Las babosas en particular son muy propensas a proliferar en los residuos en climas húmedos y deben ser controladas por medios químicos. Las lombrices de tierra, por su lado, pueden ser benéficas o dañinas, dependiendo del tipo que se trate; por lo general proporcionan efectos positivos ya que ayudan a airear, drenar y reciclar los nutrientes. No todos los efectos de las lombrices son conocidos aún, pero algunos de sus beneficios en los suelos húmedos se explican en detalle en el Capítulo 7. Mientras que la labranza destruye las lombrices de tierra, el suelo con labranza cero casi siempre tiende a incrementar en forma significativa sus poblaciones y son un organismo «indicador» del desarrollo de otra biota benéfica. Otros gusanos dañinos tal como el gusano alambre no son en general muy diferentes desde el punto de vista del riesgo del cultivo.

Las babosas (*Deroceras reticulatum*) (Follas, 1981, 1982) encuentran refugio debajo del suelo en muchos tipos de ranuras para las semillas y se alimentan de las semillas sembradas y de las plántulas que nacen. Claramente, las babosas aumentan los riesgos de la labranza

cero pero son fácilmente controlables por medio de la aplicación de un molusquicida.

Otras pestes pueden incrementar el riesgo de daño en función del aumento de residuos superficiales o de la menor destrucción por las máquinas de labranza, si bien también ocurre lo mismo con sus predadores.

Un ejemplo de la interacción peste-sembradora es la que se encontró con los abresurcos en forma de T invertida (ver Capítulo 4), los cuales crean ambientes subsuperficiales en el suelo abierto por los abresurcos que son mayores en contenido de humedad del suelo que otros suelos labrados u otras aberturas abiertas por otros tipos de abresurcos para labranza cero. La fauna del suelo es sensible a la humedad del suelo y las lombrices de tierra y las babosas tienden a congregarse en esas aberturas. Pueden tener efectos positivos o negativos para el cultivo (Carpenter *et al.*, 1978; Chaudhry, 1985; Baker *et al.*, 1987; Basker *et al.*, 1993).

Enfermedades

La enfermedad más común del suelo que parece ser favorecida por la labranza cero es *Rhizoctonia*. El disturbio del suelo durante la labranza parece destruir los micelios del hongo. Otras enfermedades causadas por hongos son llevadas por los residuos de los cereales y por la materia orgánica en descomposición depositada en los canales abandonados por las raíces, y es necesario el uso de rotaciones de cultivos o la aplicación de funguicidas. Por otro lado, la enfermedad causada por *Gaeumannomyces graminis* parece estar más confinada a la labranza cero en razón del escaso movimiento del suelo.

Un concepto llamado «green bridge» fue identificado por Cook y Veseth (1993): ciertas bacterias de las raíces de plantas recientemente muertas a causa de pesticidas químicos pueden transferirse fácilmente a nuevas plántulas si la siembra en el sistema de labranza cero se hace entre 14 y 21 días después que el

cultivo verde comienza a morir. El patógeno específico no ha sido identificado pero alguna demora después de la aspersión parece ser una ventaja donde existen esas bacterias, especialmente en los casos de cultivo continuo de cereales.

Toxinas

Los riesgos que pueden presentar las toxinas están relacionados principalmente con el contacto entre las semillas y los residuos en descomposición dentro de las ranuras hechas por los abresurcos bajo condiciones húmedas persistentes (ver Capítulo 7). Este riesgo, que se encuentra sobre todo en la labranza cero en suelos fríos y húmedos, es eliminado por medio del uso de abresurcos para labranza cero que efectivamente separan los residuos (Chaudhry, 1985) o por el uso de agentes neutralizadores agregados con las semillas (Lynch, 1977, 1978; Lynch *et al.*, 1980).

La incidencia más común de efecto de los residuos se ha encontrado con sembradoras de doble disco en suelos húmedos, blandos, con residuos superficiales. Los residuos tienden a ser doblados y enterrados en la ranura para la semilla; estas caen en el mismo lugar y da lugar a que las semillas y los residuos sean sometidos a condiciones favorables para la descomposición y, como consecuencia, se obtenga una baja población de plantas.

Algunas explicaciones para los fracasos en las primeras siembras con labranza cero asumieron la presencia de exudados alelopáticos que podían haber matado las semillas. Explicaciones posteriores más detalladas de la causa de los fracasos de la emergencia de las plántulas señalaron otros factores (especialmente físicos); ha sido difícil encontrar casos confirmados de alelopatía que hayan tenido cierta importancia.

Estrés de nutrientes

En ausencia de labranza del suelo para revolver y mezclar los fertilizantes, en los sue-

los con labranza cero es necesario considerar cuidadosamente su lugar de colocación para optimizar la absorción por el cultivo y el consecuente mejor rendimiento. La colocación del fertilizante en bandas al lado y por debajo de la semilla ha mostrado ser sumamente efectiva; en algunos casos se usa una banda de fertilizantes para servir a dos surcos de semillas. Si bien es importante colocar los fertilizantes alejados de las semillas y las plántulas para evitar problemas de toxicidad (ver Riesgos químicos), aparentemente las distancias de separación pueden –e indudablemente deberían serlo– más cercanas que aquellas comúnmente aceptadas para los suelos labrados (ver Capítulo 9). La colocación del fertilizante en bandas se hace en forma correcta por medio de la siembra y la fertilización simultáneas con una combinación de sembradora–fertilizadora y es actualmente la práctica más común.

En el caso de la labranza cero aumenta el riesgo si se usa equipo inadecuado. Por otro lado, hay abundante evidencia para demostrar que cuando los fertilizantes son colocados correctamente los rendimientos de los cultivos con labranza cero pueden ser mayores que en los suelos labrados (ver Capítulo 9). Por lo tanto, si bien el riesgo del estrés de nutrientes bajo la labranza cero puede aumentar con el uso de equipos inadecuados, por otro lado puede disminuir si se utilizan diseños adecuados de sembradoras para labranza cero.

Estrés fisiológico

Se ha dicho que las camas de semillas de labranza cero son menos «benévolas» que en las tierras labradas (Baker, 1976a). Esto frecuentemente es cierto porque las plántulas deben emerger a través del material de cobertura que es físicamente más resistente que los suelos labrados friables. Si las semillas se siembran en suelos blandos que no han sido labrados durante varios años o si se siembran con abresurcos adecuadamente diseñados tales como los abresurcos en forma de T invertida,

el microambiente de las aberturas ejercerá de hecho menos estrés fisiológico sobre las plántulas que en suelo labrado. Por lo tanto, el estrés fisiológico en el momento de la emergencia de las plántulas no debería incrementar el riesgo biológico. Este riesgo en realidad puede disminuir (ver Capítulo 5). La Lámina 1 muestra la diferencia en crecimiento entre las plántulas establecidas con distintos sembradores en situaciones de labranza cero que da lugar a diferencias en estrés fisiológico.

Calidad de la semilla

Los especialistas internacionales en análisis de semillas en todo el mundo realizan análisis de pureza y de germinación en condiciones óptimas de humedad y los consideran como los principales indicadores de calidad de las semillas. Existen sin embargo otros análisis aceptados que describen otros aspectos de la calidad de las semillas. Uno de tales análisis es el «envejecimiento acelerado» o la prueba de vigor que examina la capacidad de una semilla

para germinar después de un período de estrés (por lo general alta o baja temperatura). Es posible que un lote de semillas en particular registre un alto porcentaje de germinación pero un bajo porcentaje de vigor. En ese caso, el recuento final de la germinación no ofrece una indicación real del vigor de esas semillas, si bien la información sobre germinabilidad puede ofrecer alguna clarificación al respecto.

Hay una importante interacción entre el vigor de la semilla y el diseño de los abresurcos sembradores, lo que puede tener un serio impacto sobre el riesgo biológico; es necesario que los operadores comprendan esta interacción. Los abresurcos para labranza cero que crean ranuras en forma de T invertida producen el microambiente más favorable para las semillas que se puede crear ya sea en suelos labrados como en suelos con labranza cero. El principal atributo es la disponibilidad de agua en la fase de vapor y en la fase de agua líquida. Esto asegura que aun las semillas de bajo vigor pueden germinar, casi sin tener en consideración las condiciones del suelo.



Lámina 1 Respuestas de crecimiento de plántulas de trigo como resultado de estrés fisiológico, sembradas con un abresurco de ala (izquierda) y un abresurco de doble disco para labranza cero.

En contraste, es menos probable que germinen las semillas sembradas en suelos labrados o en las ranuras menos favorables en suelos con labranza cero que solo proporcionan agua en la fase líquida para la germinación de las semillas. Los agricultores por lo general atribuyen tales fracasos a varias razones, pero raramente analizan las semillas que han sembrado.

Varios experimentos de campo con abresurcos para labranza cero en forma de T invertida, donde incluso germinan semillas con bajo vigor y bajo condiciones desfavorables, han demostrado que las plántulas muchas veces no tienen el vigor necesario para emerger y, al contrario, están retorcidas, débiles y sin emerger debajo de la superficie del suelo. En un primer momento los observadores atribuyeron ese estado retorcido a la quema con fertilizante; sin embargo, ahora se sabe que este causa marchitamiento y muerte prematura de las plántulas pero no hojas retorcidas. Cuando las pruebas de vigor se llevaron a cabo en un período de tres años en 40 líneas de semillas que habían mostrado síntomas de plántulas retorcidas bajo la superficie sembradas con abresurcos para labranza cero en forma de T invertida, todas las líneas tenían bajo vigor; algunas llegaban a solamente al 18 por ciento.

La pregunta es: ¿qué hacer acerca de este problema? La responsabilidad se divide entre la industria de semillas y los agricultores que practican la labranza cero. La industria de semillas debe mejorar la calidad de las semillas que ofrece en venta o, por lo menos, estar preparada para difundir información entre los agricultores sobre el vigor de las semillas. Algunas compañías ya lo hacen. Por su parte, los agricultores que aplican la labranza cero deben buscar información de las compañías de semillas acerca del vigor específico de los distintos lotes de semillas y estar dispuestos a pagar un precio más alto por las mismas. Los fabricantes de sembradoras que comercializan modelos avanzados para labranza cero deben informar a los compradores que la parte más

débil del sistema puede ser ahora la calidad de las semillas, si bien antes había sido la calidad de las sembradoras.

Riesgos físicos

El clima

El clima es probablemente el elemento más variable e incontrolable en la agricultura y la aplicación de la labranza de conservación no cambiará esta situación. Sin embargo, la labranza de conservación, por varios medios, algunos ya mencionados u obvios, tiene la oportunidad de modificar significativamente su impacto. El incremento de disponibilidad de agua para las plantas es a menudo el primer resultado notorio ya que los residuos y el disturbio mínimo del suelo reducen la evaporación e incrementan la infiltración.

La mejor traficabilidad en los suelos húmedos es a menudo un sorprendente efecto de la labranza cero. Solamente con uno o dos años de labranza cero, la «fábrica» del suelo se fortalece (especialmente gracias a una mejor estructura del suelo) y el pisoteo animal o el pasaje de la maquinaria causan menos compactación y menos depresiones superficiales. Es sabido que los campos con labranza cero son accesibles a la siembra o el asperjado varios días después de las lluvias pero antes que los suelos labrados, con menor daño de compactación superficial. Los suelos con labranza cero no son más densos o compactos que los suelos labrados; solamente tienen mayor resistencia a las presiones como resultado del incremento de la materia orgánica y de la mejor estructura.

La labranza cero también modera los efectos excesivos del clima tales como las lluvias y las temperaturas extremas. Con los residuos se protege la superficie contra el impacto de las gotas de lluvia, la escorrentía y la erosión, las zanjas y las cárcavas no se forman. Los residuos minimizan los fuertes vientos y evitan su impacto sobre la superficie del suelo,

lo que reduce significativamente la erosión eólica. Además, una ligera disminución de las variaciones de la temperatura del suelo a menudo previene el congelamiento de las plantas que están invernando. La siembra, aplicando la labranza cero sobre residuos en pie, ha permitido buenos cultivos de trigo de invierno en zonas del hemisferio norte más al norte de lo que era anteriormente posible, con mejores rendimientos en comparación con los trigos de primavera.

Young *et al.* (1994) demostraron que las variaciones estacionales del tiempo podían afectar el riesgo de la labranza de conservación (que incluye un componente de labranza cero), comparado con la labranza tradicional (Figura 4). Los autores señalaron que el período 1986/88 fue particularmente seco en el área de Palouse, estado de Washington, Estados Unidos de América, lo cual favoreció la rentabilidad de la labranza de conservación. El invierno 1990/91 fue especialmente frío, lo cual también favoreció la labranza de conservación. En otros años—1989 y 1990—

el clima no favoreció ninguna de las dos técnicas. De esta manera los riesgos relativos del cambio de rentabilidad quedan claramente ilustrados. Tales riesgos no pueden ser predichos con seguridad pero pueden ser minimizados al seleccionar técnicas de labranza de conservación y/o máquinas con la mayor tolerancia posible a los cambios de clima.

Es obvio que las máquinas para labranza cero no pueden controlar el clima. Pero se ha notado reiteradamente que cuando se adopta la labranza cero con una apropiada manipulación de los residuos y de máquinas sembradoras diseñadas con ranuras adecuadas, las semillas y las plántulas tienen una mejor protección contra las variaciones climáticas (por ej., exceso de calor, frío, sequía, viento, humedad) que cuando el suelo es labrado o sembrado con equipos de labranza inadecuados. Por lo tanto, los riesgos que surgen del clima inclemente pueden ser reducidos con la labranza cero, siempre que se usen los métodos y equipos adecuados.

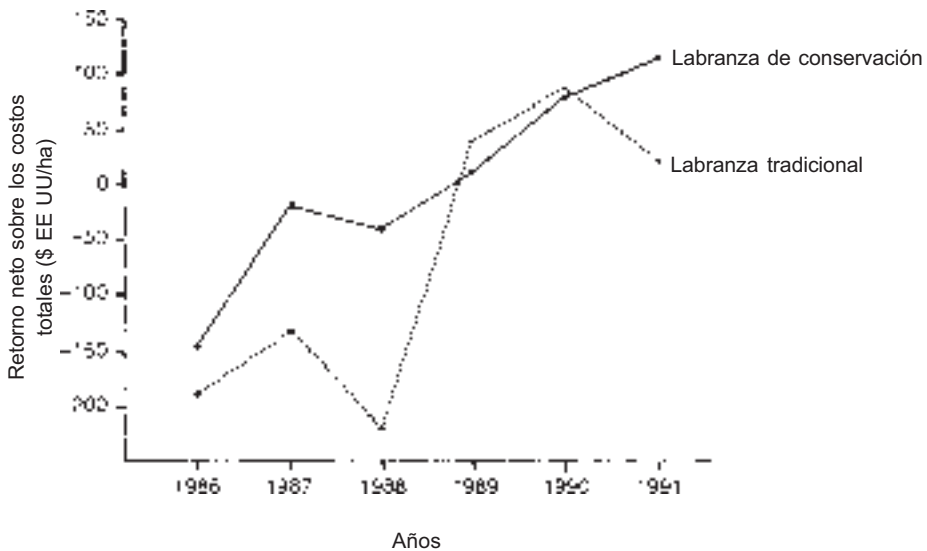


Figura 4 Rentabilidad relativa después de cinco años de dos sistemas de establecimiento de cultivos en el estado de Washington, Estados Unidos de América (de Young *et al.*, 1994).

Función de las máquinas

Muchos de los riesgos físicos surgen de la calidad del trabajo de las máquinas para labranza cero. Los diseñadores de las máquinas deben entender e incorporar la capacidad necesaria para cumplir las funciones para las cuales han sido planificadas en muchos tipos de suelos, residuos y condiciones climáticas; estas condiciones pueden presentar grandes variaciones, incluso dentro de un mismo campo y de un mismo día. Hay un gran riesgo en el sistema agrícola que puede ser causado por una máquina que presenta diferentes comportamientos en diferentes días en diferentes partes de un campo. Una sembradora exitosa en la labranza cero debe tener una amplia tolerancia a condiciones cambiantes, a veces hostiles.

Una de las funciones físicas más importantes es la creación en el suelo de un microambiente adecuado para las semillas. Los diferentes sembradores difieren claramente en la capacidad para cumplir esta función (ver Capítulo 4) y esto afecta el nivel de riesgo asociado con diferentes máquinas. Para reducir los riesgos asociados con las máquinas, los abresurcos de las sembradoras para labranza cero deben seguir las variaciones de la superficie de la tierra y moverse a través de cantidades importantes de residuos sin bloquearse. La profundidad de siembra puede ser mantenida solamente con un cuidadoso seguimiento de la superficie del suelo por parte del abresurcos.

El mantenimiento de los residuos en la superficie del suelo es el beneficio más importante a largo plazo que proporciona la labranza cero, especialmente para reducir la erosión y las fluctuaciones de temperatura e incrementar la fauna del suelo y la infiltración. Los residuos también son un ingrediente igualmente importante del comportamiento biológico a corto plazo como la emergencia y el vigor de las plántulas. La labranza cero no ofrece la opción de corregir los errores de la última estación, de los caminos de los vehículos o del

paso de animales, las cárcavas, la capa compactada, etc. Es fundamental evitar la creación de superficies del campo que no son manejables desde el punto de vista mecánico en la estación siguiente.

Las máquinas sembradoras para labranza cero no solo deben manejar físicamente los residuos sin bloquearse, sino que también deben tener la capacidad de micromanear los residuos cercanos a la abertura y utilizarlos en beneficio de las semillas sembradas y las plantas (Baker y Choudhary, 1988). Al contrario, la incapacidad de cualquier abresurcos para realizar estas operaciones incrementa el riesgo de la labranza cero dado que los residuos en sí mismos son un ingrediente importante en la creación de un hábitat favorable para las semillas y las plántulas. Una utilización positiva de los residuos de los cultivos en la labranza cero es considerablemente diferente de la labranza común ya que en la labranza cero son considerados benéficos y no un obstáculo para el trabajo de las máquinas. Puesto que los suelos arados, casi por definición, tienen una cantidad mínima de residuos sobre la superficie, no se benefician, en comparación, de la buena utilización de los residuos que hacen los abresurcos para labranza cero; al contrario, se pueden comparar con la labranza cero cuando esta no utiliza los residuos.

Del mismo modo, la capacidad para seguir en forma uniforme la superficie del suelo no labrado para una siembra regular por parte de las sembradoras para labranza cero determinará en gran parte los riesgos biológicos asociados con bajas poblaciones y vigor de las plantas. Estos aspectos se analizan en detalle en el Capítulo 8 pero, en resumen, se debe reconocer que es necesario que los abresurcos para labranza cero sigan la superficie del suelo mejor que los sembradores para labranza convencional, de lo contrario se incrementará el riesgo de un cultivo pobre.

Las sembradoras para labranza cero encuentran mayores resistencias y sus componentes

se desgastan más que los componentes de las sembradoras para labranza común. Algunas de las funciones fundamentales, tales como el manejo de los residuos y la formación de ranuras, a menudo dependen del desgaste mecánico en límites muy estrechos; por ello, el mantenimiento de las máquinas para labranza cero es más importante que para las sembradoras convencionales. En otras palabras, la ausencia de un adecuado mantenimiento en las sembradoras para labranza cero puede aumentar en forma desproporcionada el riesgo de un mal trabajo.

Sin embargo, ninguna de las funciones físicas descritas anteriormente tiene importancia para el riesgo excepto cuando su implementación tiene una función biológica en relación con las semillas sembradas y las plántulas emergentes. Algo sorpresivamente, muchas de las primeras «funciones deseables» de los abresurcos para labranza cero (por ej., Karonka, 1973) no definían en absoluto los objetivos biológicos. La falta de reconocimiento de estas relaciones biología-ingeniería probablemente incrementó, en un principio, el riesgo de la labranza cero y fue responsable de una escasa reputación inicial.

Ritchie *et al.* (2000) resumieron los riesgos biológicos asociados con seis funciones importantes que los abresurcos para labranza cero deberían cumplir. Esos elementos modificados se encuentran en el Cuadro 1. A cada criterio le fue asignado un riesgo de 1 a 10 (1 = riesgo más bajo, 10 = riesgo más alto) de acuerdo con datos científicos y a principios de ingeniería establecidos.

Varios sembradores comúnmente usados fueron clasificados usando el criterio del Cuadro 1; los datos se encuentran en el Cuadro 2. La evaluación de la versión de discos de los abresurcos con alas coincide estrechamente con las encuestas hechas en campos de los usuarios en Nueva Zelanda que han recogido un éxito del 90 al 95 por ciento en varios años y cientos de miles de hectáreas de siembra (Baker *et al.*, 2001). Sin embargo, el abresur-

co más popular en todo el mundo, el de doble disco vertical, tiene una clasificación pobre. Esto explica que muchas fallas asociadas con la labranza cero están relacionadas con este abresurcos.

Riesgos químicos

Los riesgos químicos presentan implicancias similares a los riesgos físicos y están ligados a los riesgos biológicos que los mismos generan. Dos riesgos químicos son la efectividad del control de malezas por la aplicación de herbicidas y el riesgo de toxicidad o «quema de las semillas» causado por una colocación inapropiada de los fertilizantes, muy cerca de las semillas.

Control de malezas

El control de malezas con herbicidas debe ser tan efectivo como con medios mecánicos, de lo contrario aumenta el riesgo de una disminución del rendimiento del cultivo. Las principales variables que determinan la efectividad de los herbicidas son las siguientes.

APLICACIÓN DE INGREDIENTES ACTIVOS. La capacidad de los operadores para interpretar cabalmente las instrucciones y las etiquetas de los herbicidas y pesticidas tiene gran relación con el resultado de las aplicaciones. Además, los operadores deben ser capaces de reconocer las distintas especies de malezas y de calibrar exactamente las asperjadoras. Todas las elecciones que hagan los operadores son más arriesgadas que las operaciones de labranza y tampoco los errores de dispersión se pueden considerar como errores de labranza que podrían ser «reparados» al día siguiente.

ELECCIÓN DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS ADECUADOS. La elección de las herramientas de labranza puede seguir una rutina de «prueba y error» donde: i) el mal comportamiento de un implemento se reconoce en poco tiempo; ii) las

MÉTODO PARA CLASIFICAR LAS SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO

OPCIONES

	INCREMENTO	DEL RIESGO	BIOLOGICO
TIPO DE SEMBRADORA/ ABRESURCO			
Ranura microambiental (ejemplos)	Ranura para semillas en forma de T invertida (Baker Boot)	Ranura para semillas en forma de U (azada, disco en ángulo)	Ranura para semillas en forma de V (doble/triple disco) A voleo (sin ranura para semillas)
Cobertura ranura para semillas	Cobertura integral de las semillas (ruedas prensadoras)	Cobertura separada de semillas (rastras de tiro)	Sin cobertura de semillas
Colocación del fertilizante	Colocación horizontal separada	Colocación vertical separada	Mezclado con las semillas Sin fertilizante
Control profundidad de semilla	Profundidad ajustable/ruedas compresoras en punto de salida de semillas	Profundidad ajustable/ruedas compresoras detrás de abresurco	Ruedas compresoras con elásticos Sin control profundidad/sin ruedas compresoras
Seguimiento de la superficie	Fuerza hacia abajo automática y sensor de carga	Fuerza hidráulica hacia abajo con amortiguador de gas y sensor de carga	Resortes hidráulicos ajustables Dientes elásticos o fijos en barra portaherramientas
Manejo de residuos y micromanejo	Disco integral y dientes	Solo disco(s)	Disco separado y dientes Solo dientes

Como usar esta tabla: evaluar cada uno de los seis tipos de sembradora/abresurco citada en la columna de la izquierda. Dar un valor a las barras de color que se relacionan con la opción que presenta la sembradora o el abresurco. Un valor total alto indica un nivel alto de riesgo (ejemplo: una sembradora hipotética puede tener abresurcos invertidos en T (3), requiere rastra de tiro (6), no tiene capacidad de fertilización (10), no tiene ruedas compresoras/control de profundidad (10), resortes hidráulicos ajustables (6) y discos separados y dientes (6) = Total 41/60).

Cuadro 1 Tabla para la evaluación biológica del riesgo de los diseños de los abresurcos de las sembradoras (según Ritchie et al., 2000).

Cuadro 2 Ejemplo de como algunos abresurcos para labranza cero se clasifican respecto al riesgo biológico.

	Versión de disco de abresurco de ala	Disco vertical angulado	Disco angulado inclinado	Abresurcos de cincel y de pata de ganso ancha	Doble disco vertical	Diente con ala simple ^a
Microambiente de la ranura	1	4	4	3	7	2
Ranura con cobertura	1	3	2	2	7	4
Colocación de fertilizante	1	3	3	2	7	7
Control profundidad de semilla	2	1	1	9	3	8
Seguimiento de superficie	1	4	4	9	5	9
Manejo de residuos	1	3	3	7	3	10
Total sobre máximo 60	7	18	17	32	32	40
Posibilidad de comportamiento biológico negativo ^b	11%	30%	28%	53%	53%	67%

^a Los abresurcos con ala simple son diseñados para ser usados preferentemente en pasturas. Comparando estos abresurcos para toda labranza cero (incluida arable) se los penaliza injustamente pero aun así han sido incluidos para ilustrar cómo el Cuadro 1 expone las limitaciones de tales abresurcos.

^b Las cifras representan las posibilidades de obtener un comportamiento biológico pobre al usar cualquiera de esos abresurcos. Por ejemplo, la tabla sugiere que el uso de la versión del abresurco de disco con ala dará un 11 por ciento de posibilidad de cultivo pobre mientras que el uso de abresurcos de cincel dará un 53 por ciento de posibilidad de cultivo pobre salvo cuando hay pocos residuos presentes y los campos son suaves y llanos.

Dicho de otra manera, la tabla sugiere que con residuos pesados en tierra poco blanda habría cerca de cinco veces más la posibilidad de obtener un cultivo pobre usando abridores del tipo cincel en comparación con la versión de abresurcos de discos con ala.

consecuencias raramente son de gran magnitud, y iii) la rectificación del error usando implementos alternativos se puede hacer rápidamente. Sin embargo, muy pocas o ninguna de estas flexibilidades existe en el caso de la elección de los compuestos químicos para casos específicos de malezas o pestes. En algún caso, la elección equivocada de un compuesto químico puede ser rectificada por la aplicación de otro compuesto, pero las opciones son menores que con la labranza y los riesgos son, por lo tanto, mayores.

EL CLIMA. Algunos pesticidas requieren varias horas sin lluvia para ser realmente efectivos mientras que otros no encuentran esa limita-

ción. Desde el momento que muchos pesticidas tienen un costo alto y, a diferencia de las herramientas de labranza, no son reutilizables, el riesgo climático –lluvia y viento– es mayor que con la labranza.

CALIDAD DEL AGUA. Algunos herbicidas aplicados sobre el follaje, especialmente aquellos que se inactivan después del contacto con el suelo como el glifosato, pueden ver alterada su eficacia por las impurezas contenidas en el agua. El caso más importante puede ser el agua de pozos o represas contaminadas con partículas de hierro o carbonatos. La efectividad de algunos pesticidas es afectada por el grado de acidez del agua. Además, las impurezas

presentes sobre las hojas a tratar, tales como barro o polvo levantado por el ganado o los vehículos o la cal aplicada recientemente pueden inactivar algunos herbicidas.

VIGOR DE LAS MALEZAS. El vigor de las malezas a combatir en el momento de la aplicación es importante. Algunos herbicidas como el glifosato son más efectivos cuando se asperjan sobre plantas sanas en crecimiento activo. Otros herbicidas como el paraquat son más efectivos sobre plantas estresadas. El conocimiento de estos requerimientos es esencial si se quiere hacer un control efectivo de las malezas.

ERROR DEL OPERADOR. Durante la labranza, los errores de conducción de un operador se aprecian inmediatamente, pero raramente son lo suficientemente serios como para que en el siguiente cultivo esa sea un área propensa a afectar los rendimientos. Asperjando una sola vez los errores no se aprecian inmediatamente. Paraquat es el herbicida que muestra más rápidamente su efecto pero aun así son necesarios varios días para apreciarlo. Muchos otros herbicidas necesitan por lo menos una semana para mostrar efectos visibles, cuando el cultivo ya ha sido sembrado; cualquier acción correctiva resulta virtualmente imposible sin afectar adversamente el cultivo sembrado.

Toxicidad de los fertilizantes

Existen dos riesgos asociados con la colocación inadecuada de los fertilizantes en el momento de la siembra. Si el fertilizante es esparcido a voleo sobre la superficie de la tierra en lugar de colocarlo en el suelo en el momento de la siembra hay un serio riesgo de dañar el cultivo y su rendimiento como resultado de una limitada disponibilidad de plantas (ver Capítulo 9). Por otro lado, en la labranza cero cuando el fertilizante es colocado con la semilla existe el peligro que dañe o «queme» la semilla, salvo cuando los dos es-

tán claramente separados en el suelo. Este último riesgo aumenta al aumentar la sequedad del suelo. La separación es más difícil de obtener en la labranza cero que en los suelos labrados pero se ha demostrado que es posible obtenerla con el equipo correcto sin un incremento del riesgo.

Riesgo económico

Todas las formas de riesgo durante la labranza cero son en último grado medidas como riesgo económico. Pero este riesgo no debería enfocarse solamente en el ahorro de costos. Indudablemente, este enfoque puede incrementar antes que disminuir los riesgos económicos reales e imaginados. Esto ocurre por dos razones:

1. Donde los agricultores ya poseen su propio equipo de labranza aprecian la adquisición de equipo para no labranza o el uso de contratistas (por ej. sembradores) y sin considerar su costo, como una duplicación de los costos actuales.
2. La compra de equipo de labranza cero de inferior calidad para efectuar una cierta economía podría dar como resultado menores rendimientos de los cultivos, aun cuando esto pueda ocurrir solo temporalmente. Tal resultado puede ser indudablemente menos rentable que la labranza o que la labranza cero llevadas a cabo con equipo más costoso –y probablemente de mejor calidad– que mantiene o incluso mejora los rendimientos de los cultivos.

A continuación se analizan ambos escenarios.

El costo de la labranza comparado con el costo de la labranza cero

Los costos de varias alternativas para adoptar la labranza cero bajo un sistema de dos cultivos anuales (por ej., trigo seguido por un cultivo forrajero para consumo animal) en

Nueva Zelanda fueron analizados y comparados con los costos de la labranza convencional (C. J. Baker, 2001, datos sin publicar), tal como sigue:

1. Contratar la labranza (sembradora) comparado con un contratista para labranza cero.
2. Compra de nuevo equipo de labranza comparado con la compra de nuevo equipo para labranza cero.
3. Conservar la propiedad del equipo usado de labranza comparado con la compra de equipo usado para labranza cero.
4. Conservar la propiedad del equipo usado de labranza comparado con la compra de equipo nuevo para labranza cero.
5. Conservar la propiedad del equipo usado de labranza comparado con la contratación de equipo para labranza cero.

Se incluyeron los costos fijos tales como el interés de la inversión, la depreciación, el seguro y la vivienda y se expresaron como costo por hora del uso anual de las máquinas. Las sembradoras fueron usadas por un período más corto para sembrar en el sistema de labranza cero que para sembrar la misma área en el sistema de labranza. De esta manera los costos por hora aumentan si bien los costos por hectárea y por año decrecen. El análisis también asumió que un solo tractor grande y un conductor serían necesarios para la labranza cero comparado con dos o más tractores pequeños y conductores para la labranza convencional.

Por razones de simplicidad el estudio asumió que la sembradora para la labranza cero era de un diseño avanzado, lo cual aseguraba que los rendimientos de los cultivos permanecerían sin cambios, sin considerar cuál fuera la opción elegida. Tal hipótesis es razonable cuando es aplicada a sembradoras avanzadas para labranza cero (que de cualquier manera son más costosas) pero no es realista para sembradoras inferiores.

El análisis del costo no consideró problemas impositivos, subsidios o incentivos para

las compras de cualquier naturaleza. Estos elementos podían de otra manera favorecer la labranza cero ya que muchos países tienen incentivos para estimular esta práctica en razón de su valor conservacionista. De esta manera los resultados podrían ser considerados conservadores en lo que hace a los beneficios no registrados para la labranza cero.

Un análisis económico más detallado se encuentra en el Capítulo 18.

Los costos operativos favorecieron claramente la labranza cero. En todas las opciones anteriores (1) a (5), los costos favorecieron la labranza cero entre \$EE UU 16 y 40/ha/año.

La mayor ventaja (\$EE UU 40/ha/año) se encontró en la opción (2): compra de nuevo equipo de labranza comparada con compra de nuevo equipo para labranza cero. Esto se debió fundamentalmente a los menores costos de trabajo del equipo para labranza cero ya que el capital total es muy similar en ambos casos.

La menor ventaja (\$EE UU 16/ha/año) se encontró en la opción (4): mantener la propiedad del equipo usado de labranza comparado con la compra de equipo nuevo para labranza cero. Claramente, la ventaja se incrementaría para esta opción cuando y si se tomara eventualmente la decisión de vender el equipo existente de labranza, asumiendo que todavía existiera un mercado para esos equipos. En términos reales, el costo de la compra de equipo para labranza cero probablemente fuera adicional a los costos de mantener la propiedad del equipo de labranza existente por un cierto período.

Los agricultores por lo general consideran la retención de sus equipos existentes de labranza como un «seguro» mientras aprenden y desarrollan los conocimientos y habilidades necesarios para dominar las nuevas técnicas de labranza cero hasta alcanzar una etapa en la que consideran que pueden abandonar toda la labranza común. Otros agricultores consideran que la venta del equipo de labranza al mismo tiempo que compran el equipo para labranza cero puede hacer que el proceso de aprendizaje sea más rápido y efectivo.

La ventaja de la labranza cero en la opción (1) –contratar la labranza cero comparada con contratar la labranza común– fue de \$EE UU 36/ha/año. La ventaja para la labranza cero en la opción (3) –retener la propiedad del equipo usado de labranza comparada con la compra de equipo usado para labranza cero– fue de \$EE UU 30/ha/año y para la opción (5) –mantener la propiedad del equipo usado de labranza comparada con contratar el equipo de labranza cero– fue de \$EE UU 34/ha/año. La ventaja del costo para la labranza cero se debería incrementar si fuera posible la venta del equipo existente de labranza.

Impacto de las máquinas sobre los rendimientos de los cultivos y riesgo económico

El efecto de cualquier diseño de sembradora para labranza cero sobre los rendimientos de los cultivos y el riesgo –por lo tanto, sobre el retorno económico– será más importante que el costo inicial cuando se lo compara con la labranza o con alternativas menos costosas de labranza cero. Esta creencia ha generado la investigación y desarrollo de mejores máquinas para sistemas de labranza cero como un medio para reducir los riesgos asociados con la práctica, casi sin considerar el costo. El siguiente análisis de la capacidad de las máquinas comparado con los rendimientos esperados de los cultivos y la resultante económica clarifica esta creencia.

Los precios que cobran por hectárea los contratistas (sembradoras) son un buen barómetro de los costos relativos asociados con diferentes máquinas y sistemas de labranza cero. Si se consideran los contratistas de Nueva Zelanda como un ejemplo, encontramos que aquellos con sembradoras avanzadas (costosas) para labranza cero en 2004 costaban entre \$EE UU 72 y 96 por hectárea mientras que aquellos con sembradoras menos costosas costaban entre \$EE UU 36 y 60 por hectárea.

Las diferencias entre ambos costos son atribuibles principalmente a diferencias en el

costo inicial de las dos clases de máquinas y a los diferentes tamaños de los tractores necesarios para esas operaciones. Las diferencias entre ambos rangos de costos reflejan diferencias en los distintos costos de las opciones (tales como la labranza) junto con diferencias en la cantidad de trabajo y en los costos de mantenimiento que conllevan los diferentes tamaños, formas, topografías y tipos de suelos de los predios (incluida la abrasión).

En el punto medio de cada escala se encuentra que un agricultor en Nueva Zelanda en 2004 tuvo que pagar cerca de \$EE UU 36/ha para acceder a una sembradora avanzada. Los precios reales de los contratistas en otros países difieren de estas cifras pero la relación entre los costos asociados a las máquinas avanzadas y a las máquinas menos desarrolladas muy probablemente sea similar.

La pregunta fundamental es: ¿cuánto debe incrementar los rendimientos de los cultivos una sembradora avanzada para labranza cero para justificar los \$EE UU 36/ha pagados por una mejor tecnología, bajo las condiciones de precios de 2004?

El trigo vendido en Nueva Zelanda en el 2004 tuvo un precio de cerca de \$EE UU 170/ton. El rendimiento medio de trigo de primavera en 2004 en Nueva Zelanda fue de 5 700 kg/ha y el promedio de rendimiento del trigo de otoño fue de 7 400 kg/ha (N. Pyke, *Foundation for Arable Research*, 2004, com. pers.). El ingreso bruto para los trigos sembrados en otoño y primavera fue, por lo tanto, \$EE UU 969/ha y \$EE UU 1 258/ha, respectivamente.

Para recuperar esos adicionales \$EE UU 36/ha en los costos de siembra para labranza cero, sería necesario obtener un incremento de rendimiento de 210 kg/ha. Esto representaría obtener un incremento de rendimiento del 3,7 por ciento en los trigos de primavera y del 2,9 por ciento en los trigos de otoño.

Esos incrementos de rendimiento han sido comunes. Por ejemplo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América obtuvo en promedio un incremento de

rendimiento del 13 por ciento en siete experimentos separados en un período de tres años en el estado de Washington por el hecho de cambiar un modelo más avanzado de sembradora para labranza cero comparado con los modelos corrientemente usados en ese entonces (Saxton y Baker, 1990). Del mismo modo, el Departamento de Agricultura de Nueva Gales del Sur, en Australia, usando modelos de abresurcos/sembradoras avanzados para labranza cero, registró en un período de 11 años un 27 por ciento de ganancia de los rendimientos de soja sembrada anualmente después de avena, en comparación con los rendimientos con labranza (Grabski *et al.*, 1995).

La experiencia de agricultores comerciales en un período de nueve años en Nueva Zelanda, Estados Unidos de América y Australia sugiere que los resultados de las par-

las de investigación han reflejado correctamente las expectativas en el campo. Los rendimientos del trigo y de otros cultivos se aproximaron al doble de las medias nacionales y tenían en común la práctica de la labranza cero a su nivel más avanzado.

Conclusiones

Es posible decir que, cuando se comparan los riesgos económicos de la labranza y la labranza cero, es necesaria más maquinaria y maquinaria más avanzada para la práctica de labranza cero correcta y exitosa. Pero si se usan la maquinaria adecuada y un manejo correcto se comprenden las razones de esta elección y no habrá un riesgo económico mayor –muy a menudo será menor– con labranza

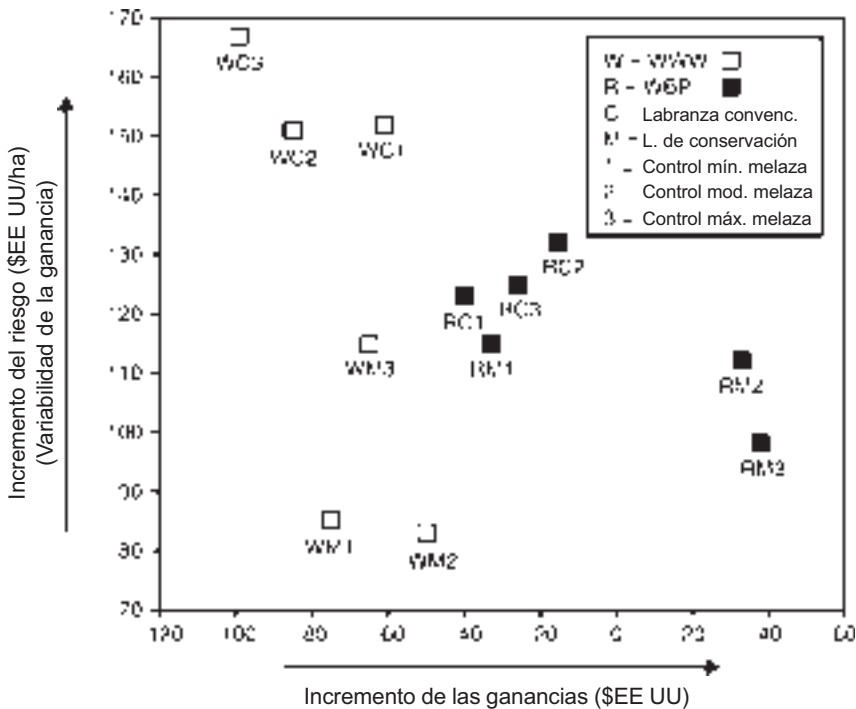


Figura 5 Análisis de rentabilidad y del riesgo en 12 sistemas en el área de Palouse, Washington, 1986-1991 (de Young *et al.*, 1994). NOTA: WWW = rotación trigo, trigo, trigo; WBP = rotación trigo, cebada, arveja.

cero que con labranza común. Las distintas formas de riesgo se conjugan en las rotaciones de varios años requeridas en la agricultura moderna de un sistema integrado de manejo. La Figura 5 ilustra los resultados de una evaluación completa del riesgo financiero hecha durante seis años consecutivos en experimentos llevados a cabo por Young *et al.* (1994) en el estado de Washington, en Estados Unidos de América.

Estos experimentos compararon los resultados combinados de la labranza de conservación, que incluyeron varios años consecutivos de labranza cero *versus* la labranza convencional, los efectos de controles de malezas máximo, moderado y mínimo y rotaciones de cultivos, todas con un alto nivel de manejo agronómico. Considerando todos los tratamientos y seis años de factores climáticos variables, la labranza de conservación presentó el menor riesgo económico debido a la humedad que conservó, a los buenos rendimientos y a los bajos insumos. Los autores llegaron a la conclusión de que la rotación trigo de invierno-cebada de primavera-arvejas de primavera a niveles máximos o moderados de control de malezas (RM3 o RM2) prevalecieron sobre todos los otros sistemas en su rentabilidad (ganancias de \$EE UU 30-40/ha) y tenían el menor riesgo económico o «variabilidad de la rentabilidad».

Resumen de la naturaleza del riesgo en la labranza cero

1. La percepción de que la labranza cero involucra un mayor riesgo que la labranza común es uno de los mayores impedimentos para una adopción más extensa del sistema.
2. La combinación de todos los componentes de riesgo se manifiesta como riesgo económico.
3. Los componentes de riesgo en la labranza cero son biológicos, físicos y químicos.
4. Los riesgos biológicos están relacionados con pestes, toxinas, estrés de nutrientes, vigor de las semillas, vigor de las plántulas, enfermedades y deterioro de los rendimientos de los cultivos.
5. Los riesgos físicos se relacionan con el clima, el microambiente de las ranuras y el comportamiento y confiabilidad de las máquinas.
6. Los riesgos químicos están relacionados con el abastecimiento y disponibilidad de nutrientes para las plantas, la «quema» de las semillas por los fertilizantes y la efectividad de la aplicación de herbicidas y pesticidas.
7. El funcionamiento y el diseño de las sembradoras para labranza cero pueden tener influencia sobre las toxinas, las pestes, el estrés de nutrientes, las enfermedades, la «quema» por fertilizantes, el microambiente de las ranuras, el comportamiento y la durabilidad de las máquinas y el abastecimiento y disponibilidad de nutrientes para las plantas.
8. Si se ejecuta correctamente y con equipo apropiado, la labranza cero no tiene más riesgos –a menudo menos– que la labranza, incluso a corto plazo.
9. Si se ejecuta incorrectamente y con equipo inapropiado, la labranza cero tiene mayores riesgos asociados que la labranza.
10. A menudo es una «falsa economía» cortar los costos de la labranza cero, especialmente en la eficiencia de las máquinas, ya que el ahorro puede ser menor que las posibles reducciones de rendimiento de los cultivos.

4

Abresurcos y formas de las ranuras

C. John Baker

Muy pocos abresurcos para labranza cero fueron diseñados originariamente para suelos sin labrar; la mayoría fueron adaptaciones de abresurcos convencionales para suelos labrados.

El abresurcos es el componente de la máquina que crea una «abertura» o «ranura» o «surco» en el suelo en el cual se coloca la semilla y a veces también el fertilizante y los pesticidas. Los abresurcos convencionales y los abresurcos para labranza cero pueden crear diferentes formas de surcos o ranuras. La característica más importante es la forma de la sección de la ranura tal como se vería si se hiciera un corte transversal después del pasaje del abresurcos.

Los abresurcos son los únicos componentes de una sembradora para labranza cero que realmente rompen la superficie del suelo. En la siembra para labranza cero los abresurcos deben cumplir todas las funciones necesarias para preparar físicamente la cama de semillas y al mismo tiempo sembrar y en algunos casos fertilizar. En contraste, en la labranza convencional son necesarias una sucesión de herramientas y operaciones separadas para preparar la cama de semillas y la sembradora tiene la relativamente simple tarea de implantar las semillas y algunas veces fertilizar en un medio ya preparado.

Existe abundante evidencia científica sobre que el aspecto más importante de la mecánica

de los diferentes abresurcos para labranza cero es la forma de las ranuras que crean en el suelo y su interacción con la colocación de la semilla y la emergencia y crecimiento de la plántula. Generalmente se encuentran tres formas básicas de ranuras creadas por los abresurcos para labranza cero y otras dos formas para sembrar las semillas que no involucran la creación de una ranura continua en el suelo: i) ranuras en forma de V; ii) ranuras en forma de U; iii) ranuras en forma de T invertida; iv) siembra a golpe (haciendo pequeños huecos en la tierra y sembrando una o más semillas por hueco), y v) siembra superficial a voleo (semillas esparcidas al azar). Solamente la ranura en forma de T invertida que se usa en la labranza cero no ha sido una adaptación de las formas de ranuras usadas para los suelos labrados.

La Figura 6 ofrece una representación diagramática de las formas de ranuras i), ii) y iii) tal como se forman en un suelo franco sedimentario a tres contenidos diferentes de humedad (Dixon, 1972). La mecánica de cada uno de esos métodos de siembra y las características resultantes serán analizadas en detalle en la secciones siguientes.

Varios autores (por ej., Morrison *et al.*, 1988; Bligh, 1991) han compilado listas y diagramas de abresurcos y en algunos casos compararon las observaciones del comportamiento en el campo. Sin embargo, hay pocos

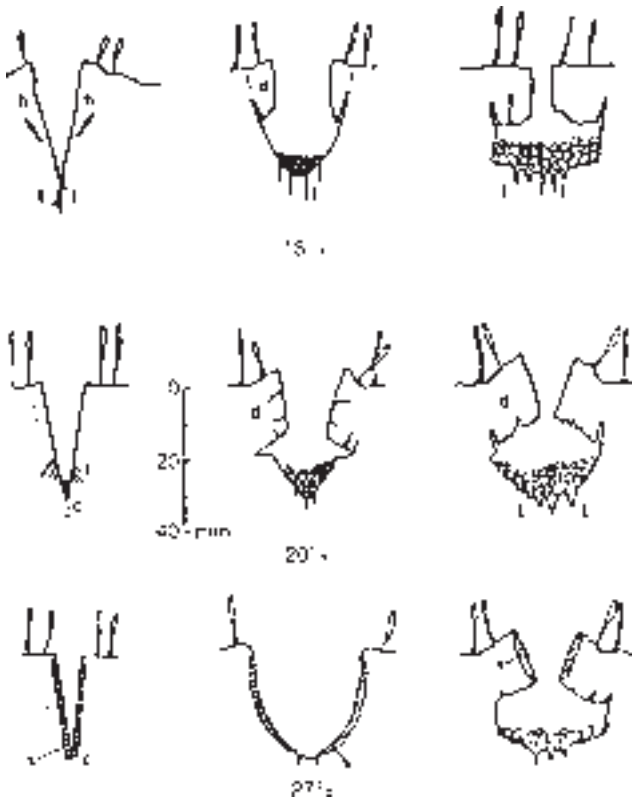


Figura 6 Perfiles típicos de ranuras verticales para labranza cero: V (izquierda); U (centro); T invertida (derecha) en un suelo franco sedimentario a 15, 20 y 27 por ciento de contenido de humedad (de Dixon, 1972).

estudios científicos detallados en los que se analicen todas las variables importantes y hayan sido controladas o hayan tenido un seguimiento cuidadoso. Tales estudios (algunos de los cuales incluyeron algunos diseños innovadores) se describen más adelante.

Ranuras verticales

Ranuras en forma de V

En los suelos no labrados, las ranuras en V son casi invariablemente creadas por dos discos que se tocan (en su base o más atrás) y que están angulados hacia afuera y arriba. Los dos discos no siempre son de igual diámetro. El ángulo de la V por lo general es de 10° si bien esta angulación no es fundamental. La

semilla cae en el espacio entre los dos discos, preferentemente hacia atrás del centro para prevenir que sean aplastadas por los discos cuando se juntan.

Cuando los discos se colocan con el mismo ángulo sobre la vertical la ranura tiene una forma de V vertical y se forma cuando los dos discos empujan cantidades casi iguales de tierra hacia afuera. Los bordes frontales de los dos discos sobre la superficie de la tierra están separados, lo cual puede causar algún problema si entran residuos en ese espacio. Para evitar ese problema, los discos por lo general se configuran en alguna de las siguientes formas:

Doble disco: excéntricos (Lámina 2)

En esta forma uno de los dos discos angulados (no hay un tercer disco delantero) se



Lámina 2 Típico disco excéntrico para abresurcos para labranza cero que forma surcos verticales en V.

coloca más adelante de modo que presenta un borde de corte delantero y deflector de los residuos. El segundo disco forma el otro lado de la V vertical pero su borde delantero está detrás del primer disco y evita así el bloqueo de los residuos y reduce la magnitud de la fuerza requerida para la penetración en el suelo.

Doble disco: distintos tamaños (Lámina 3)

Al colocar el disco más pequeño paralelo al otro disco, el borde delantero del disco más grande es el que realiza el trabajo de todo el conjunto en la misma forma que en los dobles discos excéntricos. Frecuentemente, el disco más pequeño también es excéntrico.

Disco triple (Lámina 4)

En este caso, un tercer disco vertical es colocado adelante o entre los dos discos angulados. Este disco adicional corta los residuos en forma suficiente para que los otros dos discos los puedan mover hacia los lados. Sin embargo, el tercer disco agrega un mayor requerimiento de fuerza necesaria para la penetración.

Todas las formas de abresurcos de doble y triple disco crean ranuras verticales en forma de V, ya que la forma de la ranura es creada por los dos discos angulados sin tener en consideración sus tamaños o su excentricidad. El tercer disco (delantero) en la configuración de disco triple tiene como función principal cortar los residuos y tiene una influencia menor



Lámina 3 Típico doble disco de distinto tamaño para abresurcos para labranza cero que forma surcos verticales en V.



Lámina 4 Típico disco triple para abresurcos para labranza cero que forma surcos verticales en V.

sobre la ranura. El diseño de disco triple, con el disco delantero operando ligeramente por debajo de las bases de los dos discos angulados reduce algunos efectos negativos de la formación de restos entretrejidos (ver Capítulo 7, Siembra en suelos húmedos) y de los problemas de penetración comunes tanto a las configuraciones de dobles como de triples discos. Del mismo modo, usando discos de borde ondulado (a veces llamados «turbo discos») se obtiene un cierto aflojamiento del suelo por delante de los dos discos angulados y esto ayuda a superar la tendencia a la compactación de los discos dobles siguientes.

La acción de los abresurcos verticales de doble disco sobre el suelo es empujar el suelo hacia los lados y hacia abajo en una forma en V; normalmente no levantan el suelo. En algunos suelos muy adherentes o pegajosos en los que el suelo se adhiere al lado externo de los discos, una parte del mismo es levantado y deja una discontinuidad en la ranura (Lámina 5).

La Figura 7 muestra las zonas de compactación creadas por un abresurco vertical de triple disco que opera en forma normal en un suelo franco sedimentario (Mitchell, 1983).

En el caso de un suelo seco, la característica principal de la ranura es la nitidez del corte vertical en V, excepto cuando el suelo es friable; en este caso el corte neto se puede destruir. Sin embargo, incluso los suelos friables, a medida que se incrementan los niveles de materia orgánica y la acción microbiana, se vuelven progresivamente más estructurados y menos friables. Por ello, con el tiempo, la mayoría de las ranuras verticales en V se vuelven más claramente definidas y es menos probable que se destruyan después del pasaje del abresurcos.

En razón de la presión lateral de los discos hay poco o ningún material disponible para cubrir las semillas en el fondo de la ranura en V. Este problema es más serio cuando el abresurcos es usado en un suelo húmedo no



Lámina 5 Ranura creada por un abresurco vertical de doble disco en un suelo húmedo pegajoso. El suelo se ha adherido a la parte exterior del disco y sale fuera de la zona de la ranura.

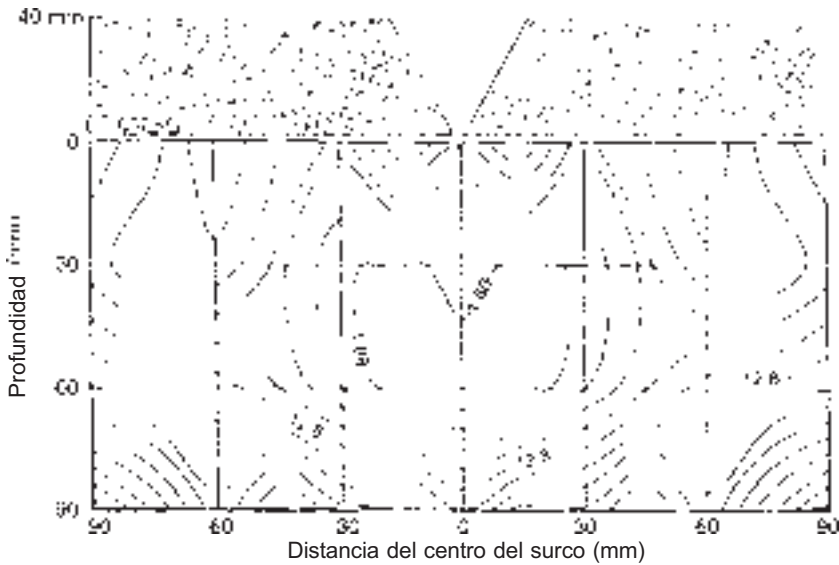


Figura 7 Modelo de resistencia del suelo alrededor de una ranura vertical en forma de V para labranza cero creada por un abresurco de disco triple en un suelo sedimentario franco húmedo (de Baker *et al.*, 1996).

friable. La Lámina 30 ilustra dicha situación. La plasticidad del suelo húmedo evita la formación de terrones que podrían caer sobre las semillas como material de cobertura (ver Capítulo 5).

Por lo general se recurre a abresurcos verticales de doble disco con ruedas compresoras en V colocadas de tal manera que, después que ha sido depositada la semilla, aprietan el suelo en dirección opuesta a los discos (Lámina 6). Lamentablemente, esta acción también incluye una cierta compactación, si bien en la dirección opuesta a las fuerzas originales. En un suelo sin labrar, la presión de los abresurcos verticales de discos dobles hacia los bordes es casi nula como para crear un ambiente favorable a las semillas.

Las mayores ventajas de los abresurcos verticales de discos dobles son: i) construcción relativamente simple y sin necesidad de mantenimiento, si bien esto depende de la calidad de los cojinetes y de las juntas de cierre, y ii) su capacidad para pasar a través de los residuos superficiales sin bloquearse.

Las desventajas más importantes son: i) requieren alta fuerza de penetración; ii) comportamiento pobre en condiciones subóptimas del suelo; iii) tendencia a entretrejer residuos dentro de la ranura, lo que en suelos secos interfiere con el contacto semilla-suelo y en los suelos húmedos da lugar a la fermentación de los ácidos grasos que inhiben la germinación de las semillas (Lynch, 1977), y iv) la incapacidad de los abresurcos individuales de separar la semilla del fertilizante dentro de la ranura. Sin duda, debido a la forma de la ranura, los abresurcos verticales de doble disco tienden a concentrar la semilla y el fertilizante en la base de la ranura más que otros abresurcos (Baker y Saxton, 1988; Baker, 1993a, b).

A pesar de estas desventajas, los abresurcos verticales de discos dobles han sido incluidos en los diseños de sembradoras para labranza cero más que otros diseños de abresurcos. Sin embargo, en razón de su dependencia de las condiciones favorables del suelo para obtener resultados aceptables en la siembra (o, más correctamente, su intolerancia



Lámina 6 Ruedas compresoras colocadas en una configuración en V para cerrar las ranuras en labranza cero creadas por los abresurcos verticales de doble disco (de Baker, 1981a, b).

a las condiciones desfavorables), han sido responsables en gran parte de la percepción generalizada de que con las prácticas de labranza cero se incrementa el riesgo.

Es importante enfatizar la distinción entre suelos labrados y suelos sin labrar e ilustrar los peligros inherentes al derivar diseños de máquinas para labranza cero de aquellas que han sido exitosas en suelos labrados. Los suelos labrados antes de la siembra son naturalmente blandos y la acción de separación de los abresurcos verticales de doble disco es generalmente beneficiosa, especialmente cuando el suelo está seco. Esto consolida el suelo a lo largo y por debajo de la semilla, lo cual da lugar a un incremento del movimiento capilar del agua en la zona de las semillas. La cobertura raramente es un problema en los suelos labrados ya que toda la cama de semillas está comprimida por suelo suelto. Por esta razón, los abresurcos verticales de doble disco tienen ventajas en los suelos labrados mientras que presentan serios problemas en suelos sin labrar.

Otras formas mecánicas de abresurcos verticales de doble disco para suelos labrados, simplemente no funcionan en suelos sin labrar porque no penetran en el suelo en condiciones menos friables. Estos incluyen los abresurcos de zapatas y los abresurcos rotativos con aros en V (Baker, 1969b). Otras consideraciones sobre estos diseños no se justifican dado que simplemente no pueden sembrar en suelos sin labrar.

Ranuras inclinadas en forma de V

Para reducir la tendencia a la compactación de los abresurcos verticales de doble disco, algunos diseñadores han inclinado los abresurcos de doble o triple disco en ángulo con la vertical y, algunas veces, también en ángulo con respecto a la dirección de avance. Cuando están inclinados respecto a la vertical, la parte superior del disco empuja el suelo parcialmente hacia arriba y reduce así la

compactación que resultaría del desplazamiento del suelo solo hacia los costados por los abresurcos verticales de doble disco. Sin embargo, la parte más baja del disco en los abresurcos de discos dobles inclinados es forzada a desplazar el suelo más hacia abajo, lo que favorece su tendencia a la compactación. Dado que las raíces se desplazan hacia abajo, es discutible si los abresurcos de doble o triple disco inclinados superan las desventajas inherentes a su tendencia a compactar la abertura en la zona radical. Por otro lado, la inclinación de las ranuras en forma de V indudablemente las hace más fáciles de cubrir dado que una rueda compresora casi vertical es más necesaria para mover el suelo hacia abajo que hacia los costados.

Dos dobles discos inclinados pueden ser combinados de tal manera que el par delantero de discos (angulados verticalmente en una dirección) entrega el fertilizante y el par trasero (angulado verticalmente en dirección opuesta) siembra la semilla a una menor profundidad. Esto efectivamente separa la semilla y el fertilizante en el plano vertical y también en la zona que normalmente sería compactada por debajo de las semillas por el disco más bajo del abresurcos trasero, lo que rechaza así parcialmente el indeseable efecto de compactación del abresurco. La Lámina 7 muestra un par de abresurcos de doble disco inclinados.

Los discos simples que están angulados en relación a la dirección de avance (y algunas veces también verticalmente) se analizan más adelante.

Ranuras en forma de U

Existe una amplia gama de diseños de abresurcos que forman aberturas o ranuras en forma de U (Baker, 1981a, b): i) abresurcos angulados de discos; ii) abresurcos de azada; iii) abresurcos movidos por toma de fuerza, y iv) surcadores.



Lámina 7 Un par de discos inclinados en ángulos opuestos. Los discos delanteros colocan el fertilizante y los discos traseros colocan las semillas a menor profundidad (de Baker *et al.*, 1996).

Las aberturas hechas por estos diseños se distinguen de las ranuras en forma de V por la forma de la base de la ranura que es más ancha y redondeada en lugar de ser en ángulo. La acción de construcción de la ranura de cada uno de estos abresurcos es bastante diferente, si bien todos producen una ranura de forma similar. Sin embargo, ninguno de estos abresurcos tiene acción lateral como los abresurcos de doble disco. Por lo tanto, hay menos compactación del suelo en las ranuras en forma de U que en las de forma en V.

Los abresurcos angulados de discos en general raspan el suelo en el centro de la ranura; los abresurcos de azada y los surcadores mueven el suelo hacia arriba y hacia afuera. Los abresurcos movidos por la toma de fuerza cortan el suelo con hojas rotatorias y los abresurcos surcadores arrastran el suelo fuera de la zona de la ranura. Más aún, todos los diseños producen algo de suelo suelto en la

superficie cerca de la ranura que puede ser usado para recubrir la ranura; sin embargo, en todos los casos es necesaria una operación separada para recubrir la ranura (ver Capítulo 5) y su efectividad depende del contenido de humedad del suelo.

Abresurcos de discos angulados

La acción de los abresurcos de discos angulados produce, preponderantemente (si bien no totalmente), un rozamiento. Los discos verticales angulados están ligeramente inclinados hacia la dirección de marcha (normalmente de 5 a 10°). La semilla es entregada a un calzador ubicado en o debajo del nivel de la tierra, cercano al lado posterior de los discos donde está protegido del bloqueo de los residuos por el ángulo del disco. Hay dos formas de abresurcos de discos angulados verticales.

DISCOS PLANOS ANGULADOS. Este tipo de abresurcos usa discos verticales planos (sin acción

de corte inferior) angulados respecto a la dirección de avance (Lámina 8). El disco y los cojinetes de apoyo deben tener una considerable resistencia ya que las fuerzas laterales son importantes, especialmente cuando se opera a cierta velocidad y/o en suelos plásticos que resisten los movimientos laterales. Dado que los discos están continuamente sometidos a fuerzas laterales, a menudo están configurados en pares, con cada par de discos en ángulos opuestos de modo que las fuerzas laterales de toda la máquina se cancelan (ver Lámina 8).

Cuando los discos no están dispuestos en pares algunas veces encuentran dificultades al girar en las esquinas en una dirección de la sembradora mientras que en la otra dirección no presentan problemas. Este es otro ejemplo en el cual los requerimientos de la labranza cero son diferentes de la labranza común, ya que la resistencia del suelo en los suelos labrados es suficientemente baja como para no causar problemas en los giros con abresurcos de discos angulados.



Lámina 8 Un par de abresurcos de discos planos angulados para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

La siembra en pendientes relativamente inclinadas favorece que la máquina tienda a «colear» o sea que la máquina tira en la dirección de avance en forma angulada en razón de la fuerza de gravedad que empuja la sembradora hacia el costado. Esto constituye un problema para las sembradoras que tienen los discos angulados en distinta dirección. La parte de la sembradora en la cual los abresurcos son obligados a avanzar sin ángulo crea ranuras para las semillas muy pequeñas e inútiles, mientras que los otros abresurcos redoblan su ángulo y crean ranuras excesivamente grandes difíciles de cubrir.

DISCOS ANGULADOS CÓNCAVOS. Este tipo de abresurcos usa un disco casi vertical ligeramente cóncavo colocado en forma angulada respecto a la dirección de avance (Lámina 9). La resistencia derivada de la curvatura del disco permite usar acero más fino en su construcción, lo que contribuye a su penetración. El eje de los discos angulados puede ser horizontal o ligeramente inclinado de la horizontal, en cualquier dirección.

Si el eje está inclinado hacia abajo en la parte convexa (detrás) del disco, la acción del disco será cortar el suelo como un arado de disco. Los beneficios de esta acción son que el suelo desplazado no es arrojado hacia un lado de donde sería difícil recuperarlo para usarlo como cobertura, sino que es levantado, enganchado e invertido. Las desventajas son que en los suelos que están unidos por las raíces de las plantas (por ej., pasturas) se produce un lámina de suelo que cae hacia atrás, sobre la semilla. Dado que la semilla es colocada debajo de la parte «colgante» de esa lámina, puede restringir la emergencia de la plántula. La Lámina 10 muestra un disco en forma de plato angulado que tiene un pequeño raspador para cortar la lámina colgante.

Si el eje se inclina hacia arriba en el lado convexo (detrás) del disco tiene el efecto de confinar la acción del disco a un simple arrastrado con casi ningún corte. En razón de las desventajas del corte inferior, la opción más comúnmente preferida es con abresurcos de discos cóncavos para labranza cero ajustándolo con el disco en posición horizontal.



Lámina 9 Un disco plano angulado para un abresurcos para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

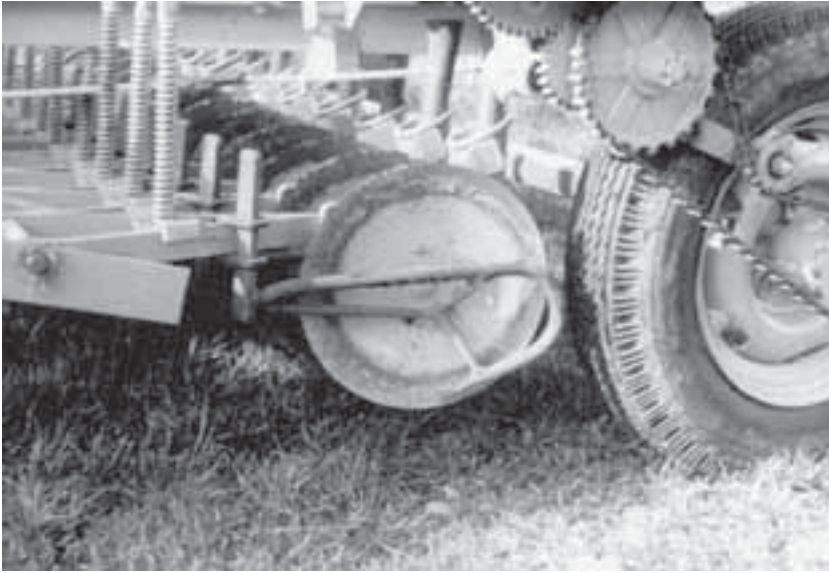


Lámina 10 Un disco plano angulado para un abresurco para labranza cero con ángulo horizontal y vertical. Este abresurco también tiene un raspador para cortar y remover las láminas de suelo (de Baker *et al.*, 1996).

DISCOS PLANOS INCLINADOS Y ANGULADOS. Algunos diseñadores han inclinado y angulado los discos planos de los abresurcos (Lámina 10). Esto reduce sobre todo la acción de arrojar la tierra de los discos angulados de modo que hay menos disturbio del suelo; además, proporciona una cobertura más abundante que con los discos verticales. La inclinación de los discos también puede ayudar la penetración y reducir los problemas citados anteriormente cuando se opera en laderas. Sin embargo, no reduce la tendencia de esos abresurcos a entretrejer los residuos en la ranura, lo cual interfiere con la germinación de las semillas y/o la emergencia de las plántulas. Tales abresurcos tampoco solucionan el problema de la colocación del fertilizante ya que la única oportunidad que existe para separar el fertilizante de la semilla es con la configuración de discos angulados.

El trabajo de todos los discos angulados (planos o cóncavos, verticales o inclinados) depende en gran parte de la velocidad de la

operación. Dado que todas las variaciones dependen por lo menos de la angulación en la dirección de avance (y también de la angulación con la vertical) para gran parte de la creación de las ranuras, la velocidad con la cual se aproximan al suelo tiene un marcado efecto sobre la cantidad de suelo que arrojan y, por lo tanto, del ancho y la forma de la ranura resultante. A altas velocidades las ranuras tienden a ser más anchas y menos profundas que a bajas velocidades y el suelo suelto disponible para la cobertura tiende a ser alejado y arrojado a un lado, de donde es más difícil de recuperar. En común con los discos que trabajan en forma derecha hacia adelante, la penetración de los discos angulados también se reduce al aumentar la velocidad, pero esto puede ser contrarrestado simplemente aumentando la fuerza hacia abajo para obtener mejor penetración.

Las dos ventajas principales de todos los discos angulados son su capacidad para manejar los residuos superficiales sin bloquearse

y el evitar la compactación de la ranura en la base y al menos en una de las paredes laterales. También son de relativamente bajo costo, simples y sin necesidad de mantenimiento.

Las desventajas principales de los abresurcos de discos angulados son: i) entretejen los residuos en la ranura en forma similar a los abresurcos de discos dobles; ii) hacen ranuras en forma de U las cuales, si son anchas en la parte superior, se secan fácilmente a pesar del suelo suelto; iii) a menudo son difíciles de regular para una operación correcta; iv) pueden operar con dificultad en las laderas; v) no pueden separar la semilla del fertilizante dentro de la ranura; vi) son afectados por la velocidad de trabajo, y vii) se desgastan rápidamente.

Abresurcos de azada o pata de ganso

El término azada o pata de ganso describe cualquier cincel o punta casi vertical diseñada para penetrar en el suelo. Las semillas son entregadas por debajo de un hueco de la punta o debajo de un tubo en la parte trasera del cincel o punta.

Las formas de estos abresurcos varían desde aladas (Lámina 24), diseñadas para separar las semillas y el fertilizante al mismo tiempo en la ranura por medio de abridores romos (Lámina 11), hasta en puntos bajos de corte diseñados para hacer una ranura relativamente angosta y penetrar fácilmente en el suelo (Lámina 12). Algunas veces un par de patas de ganso angostas se coloca en forma excéntrica horizontal para colocar separadamente las semillas y el fertilizante (Lámina 13). Uno de los problemas con los abresurcos de tipo azada es que se desgastan rápidamente, por lo tanto, la forma original tiene una duración limitada. Por esta razón, durante su trabajo van tomando nuevas formas, lo que hace que sea difícil generalizar sobre la forma de la ranura.

Generalmente, todos los abresurcos de tipo azada raspan groseramente la ranura en forma de U y empujan el suelo hacia arriba. En condiciones húmedas tienden a alisar la base y a veces las paredes laterales de la ranura, pero esto afecta solamente a las raíces de las plántulas en el caso de que el suelo se seque y se forme una costra interna (ver Capítulo 5).



Lámina 11 Abresurco de tipo azada con punta roma para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 12 Abresurco de tipo azada con punta aguda para labranza cero (de Baker *et al.*, 1976b).



Lámina 13 Par de abresurcos de cincel con deflector horizontal. El cincel delantero aplica el fertilizante mientras que el cincel trasero aplica las semillas fuera de la línea del fertilizante y algo más superficiales.

La acción de empuje produce una cantidad considerable de suelo suelto a lo largo de la ranura, lo cual puede ser útil para cubrir pero también puede dejar lomos grandes entre los surcos. Por esta última razón, la mayoría de los abresurcos de cincel operan a baja velocidad (máxima 6-9 km/h).

La naturaleza y la extensión del suelo suelto a lo largo de la ranura son también dependientes del contenido de humedad del suelo. A menudo, en los suelos plásticos húmedos, no se produce suelo suelto mientras que otras veces, con unas pocas horas de secado después de la siembra, se producen bordes con costras que pueden ser arrastrados hacia dentro de las ranuras y, por lo menos, llenarlas parcialmente. La acción de cobertura más apropiada después del pasaje de los abresurcos de tipo azada es, por lo tanto, algo que se debe decidir en el momento, lo cual es una de sus desventajas.

Sin embargo, la mayor desventaja de los abresurcos de tipo azada o de cincel es el hecho de que solo pueden manejar volúmenes limitados de residuos sin bloquearse (ver Capítulo 10), especialmente en surcos angostos. La colocación de un disco delantero en un abresurcos de tipo azada o de cincel, sin considerar cómo o en qué posición relativa es colocado respecto a la azada, no significa que un grupo de tales abresurcos en surcos angostos pueda manejar los residuos en forma satisfactoria.

Las mejores configuraciones para el abresurcos de azada o de cincel para trabajar con residuos han sido espaciando los abresurcos en múltiples surcos en la dirección de la marcha. Esto se basa en la observación de que, excepto cuando los residuos son excesivamente pesados o húmedos, la inevitable acumulación de residuos en cada punta terminará cayendo hacia uno de los lados en función de su propio peso. Si hay suficiente espacio entre las puntas adyacentes, la caída de los terrones o residuos no bloqueará la máquina o, por lo menos, lo hará con menor frecuencia. Estos

terrones o residuos pueden causar problemas para la emergencia de las plántulas y posteriormente para la cosecha, por lo que cabe la pregunta de si esto es en realidad un buen manejo de residuos. Lamentablemente, un espaciamiento mayor requiere dimensiones indeseables de todo el abresurcos-sembradora lo cual compromete otras funciones tales como la capacidad para seguir las ondulaciones de la superficie de la tierra y la entrega de las semillas. La Lámina 14 muestra un abresurcos de cincel para labranza cero con puntas muy separadas.

Los abresurcos de azada o de cincel presentan varias ventajas: i) son relativamente poco costosos; ii) pueden ser hechos sin mayor dificultad para colocar al mismo tiempo semillas y fertilizantes; iii) no entretujan los residuos en el suelo ya que barren los residuos hacia un lado, si bien esto es una desventaja para controlar el microclima dentro de la ranura, como se describe en el Capítulo 5.

Las mayores desventajas son: i) se desgastan en forma relativamente rápida; ii) tienen poca capacidad para manejar los residuos, y iii) no pueden separar las semillas del fertilizante dentro de la ranura (ver Capítulo 9).

Abresurcos movidos por la toma de fuerza

Estos abresurcos son considerados todavía un enigma en la labranza cero. Dado que muchos agricultores estaban habituados a labrar el suelo con cultivadores rotativos en miniatura antes de la siembra, parecía natural labrar el suelo en fajas para la labranza cero. Los abresurcos movidos por la toma de fuerza son cultivadores rotativos en miniatura propulsados por una fuente de energía común y que en la práctica labran una serie de fajas angostas para colocar las semillas. Mientras que la labranza asegura que las semillas quedan bien cubiertas con suelo suelto, se reconoce desde hace tiempo que la labranza con las rotativas es una de las formas menos deseables de labrar la tierra. Sus principales desventajas, ya sea que se

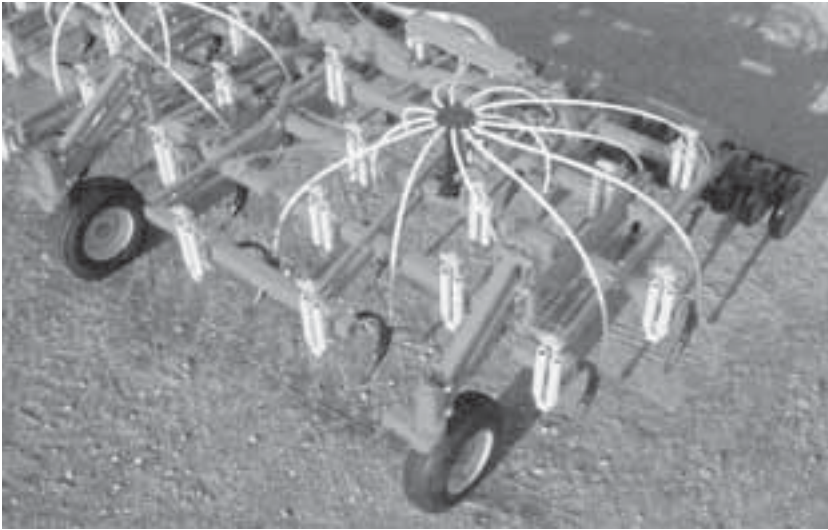


Lámina 14 Una sembradora para labranza cero con abresurcos de cincel con separación amplia diseñado para abrir los residuos.

apliquen a toda la superficie de la tierra o solamente en fajas, son que estimula la germinación de las semillas de malezas, es fuertemente destructiva de la estructura del suelo y tiene un alto consumo de energía (Hughes, 1975; Hughes y Baker, 1977).

La colocación real de las semillas varía con el diseño. En algunos casos la semilla es esparcida en la huella de las hojas rotatorias y así queda íntimamente mezclada con el suelo pero la profundidad de siembra es variable. En otros casos, los abresurcos convencionales separados para suelos labrados (abresurcos de zapatas, de azada o de discos) operan detrás de las hojas rotatorias como en la siembra en una cama de semillas completamente labrada.

Las ventajas de los abresurcos movidos por la toma de fuerza son que las fuerzas requeridas para la penetración son apenas mayores que aquellas comúnmente requeridas para los suelos labrados. Los abresurcos movidos por la toma de fuerza sustituyen la fuerza aplicada por medio de la toma de fuerza del tractor (PTO) a los rotores para las fuerzas de penetración y a las fuerzas de tiro más comunes a

otros tipos de abresurcos no rotatorios para labranza cero. Crean aberturas en forma de U, no arrojan residuos dentro de la abertura, generalmente cubren bien la semilla y, en climas fríos donde puede haber una lenta descomposición de los residuos superficiales, mezclan el material y lo incorporan al suelo.

Por otro lado, al eliminar los residuos del suelo en esta forma, los abresurcos movidos por la toma de fuerza no contribuyen al micromanejo de los residuos cerca de las semillas, que es una de las funciones más importantes de los abresurcos en la labranza cero. Más aún, en pocos casos separan la semilla del fertilizante dentro de la abertura, si bien en razón de la cantidad de tierra suelta hay una cierta mezcla del fertilizante con el suelo que hace una separación parcial de la semilla.

Los abresurcos movidos por la toma de fuerza son máquinas relativamente complejas cuando se las compara con el diseño de otros abresurcos. Sufren particularmente el desgaste, no siguen las ondulaciones de la superficie y sufren daños causados por las piedras y otros obstáculos.

Los primeros diseños fueron adaptaciones de cultivadores rotativos convencionales. Las hojas anchas normales en forma de L fueron montadas sobre un eje unido a la toma de fuerza del tractor y posteriormente reemplazadas con hojas más angostas correspondientes al ancho y al espaciamiento de los surcos deseados. Así se crearon surcos de suelo labrado. El ancho de las fajas labradas varió entre 20 y 200 mm, dependiendo de los objetivos. La Lámina 15 muestra los efectos de labrar con fajas angostas y la Lámina 16 muestra la labranza de fajas más anchas.

En los primeros diseños cada juego de hojas fue montado sobre un eje común por lo que era imposible mantener una profundidad uniforme en cada faja labrada al pasar sobre las ondulaciones del terreno. Incluso el uso de abresurcos- sembradores articulados independientemente que se instaló en los modelos siguientes no pudo compensar las áreas de suelo que no habían sido labradas si, por ejemplo, la máquina había pasado sobre un peque-

ño hueco. La Lámina 15 muestra un abresurcos- sembrador movido por la toma de fuerza de un eje común con abresurcos montados independientemente para depositar la semilla.

Los últimos diseños intentaron montar cada conjunto de hojas rotatorias en forma independiente de modo que pudieran seguir la superficie del suelo. Sin embargo, resultó sumamente costoso porque cada conjunto de hojas requería su propio conjunto flexible de tiro y necesitaba cierta protección contra el daño de las piedras; en esos casos la transmisión por correas podía patinar.

Algunos diseños montaron los juegos de hojas en pares. La Lámina 17 muestra el cabezal de un modelo de rotor doble en el cual los rotores se articulan hacia arriba y abajo. Otros diseños intentaron transmitir la fuerza de cada rotor en forma individual por medio de una cadena en un disco ondulado delante del rotor para que el disco resbalara sobre el suelo cuando encontrase una piedra. La Lámina 18 muestra este equipo.



Lámina 15 Fajas angostas labradas por un abresurcos movido por toma de fuerza para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 16 Fajas anchas labradas por una máquina de labranza en fajas (de Baker *et al.*, 1996).

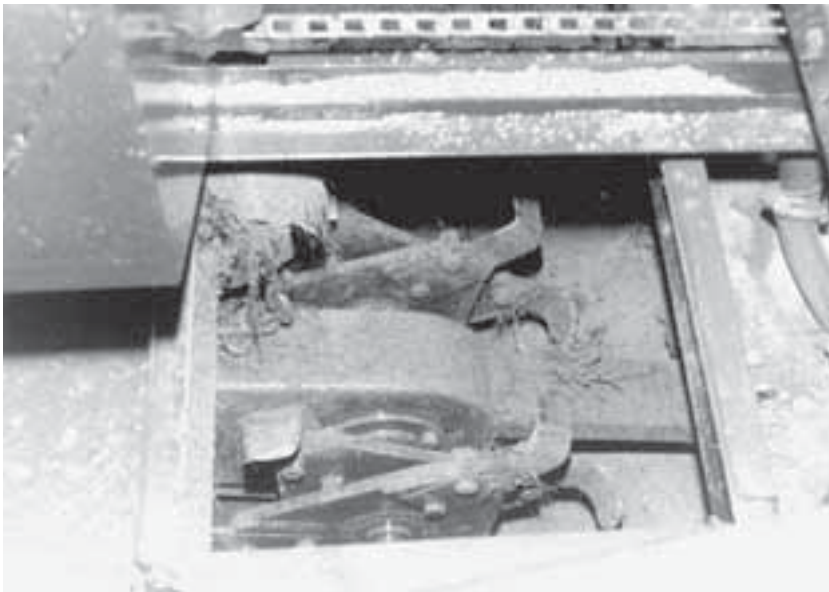


Lámina 17 Abresurcos movidos por toma de fuerza para labranza cero ordenados en pares (de Baker, 1981a, b).

Si bien los abresurcos movidos por la toma de fuerza han sido un diseño preferido por muchos ingenieros que han producido diver-

sos modelos para todo el mundo, pocos de ellos han sido comercialmente exitosos debido a las desventajas mencionadas anteriormente.



Lámina 18 Abresurcos para labranza cero movido por la toma de fuerza por medio de un disco dentado (de Baker *et al.*, 1996).

Tal vez el mayor uso se encuentra en las situaciones en las que otros abresurcos no funcionan. Un ejemplo es la revegetación de pasturas a grandes altitudes donde la temperatura ambiental permanece baja y no permite una total descomposición de la materia orgánica. Como resultado, a lo largo de los siglos, se forma un tapiz de vegetación sin descomponer que puede llegar a tener varios centímetros de espesor (Lámina 19) y que simplemente resiste la operación de otros abresurcos para labranza cero, excepto los diseños que físicamente trituran esos restos y los mezclan con el suelo. En estas condiciones el objetivo es sembrar especies forrajeras por medio de la labranza cero para aumentar la capacidad de carga en tierras que de otro modo serían frágiles y de baja productividad.

Los abresurcos movidos por la toma de fuerza, en general, crean más aireación mecánica a corto plazo dentro del surco que cualquier otro tipo de abresurco; sin embargo, los beneficios son por lo general temporales en com-

paración con los abresurcos que favorecen la aireación natural por medio de las lombrices de tierra (ver Capítulo 9). Tienen tendencia a compactar la base de la abertura pero, diversamente de los abresurcos de discos dobles, no parecen causar dificultades a las raíces de las plántulas.

Surcadores

Es un abresurcos diseñado en Inglaterra especialmente para la renovación de praderas; está formado por dos discos verticales separados lateralmente varios centímetros que hacen dos cortes. Los discos son seguidos por un arado de vertedera en miniatura que ahueca el suelo entre esos cortes y al mismo tiempo crea una pequeña huella en la base de una ranura ancha en forma de U donde se deposita la semilla (Haggar, 1977; Choudhary *et al.*, 1985). La función del ahuecado del suelo es eliminar la competencia de las malezas en la zona de las semillas sin necesidad de aspersiones y permitir un desarrollo precoz de las plántulas en una

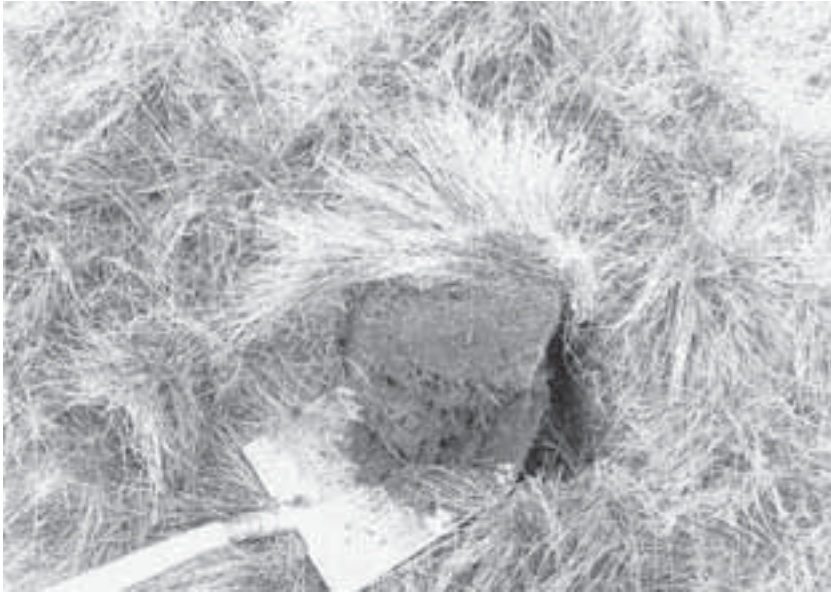


Lámina 19 Tapiz de hierba sin descomponer en *Scottish Highlands* (de Baker *et al.*, 1981a, b).

zona hundida y físicamente protegida del pisoteo del ganado (Lámina 20). La cobertura de las semillas en el húmedo clima inglés no es una alta prioridad, pero esos abresurcos son

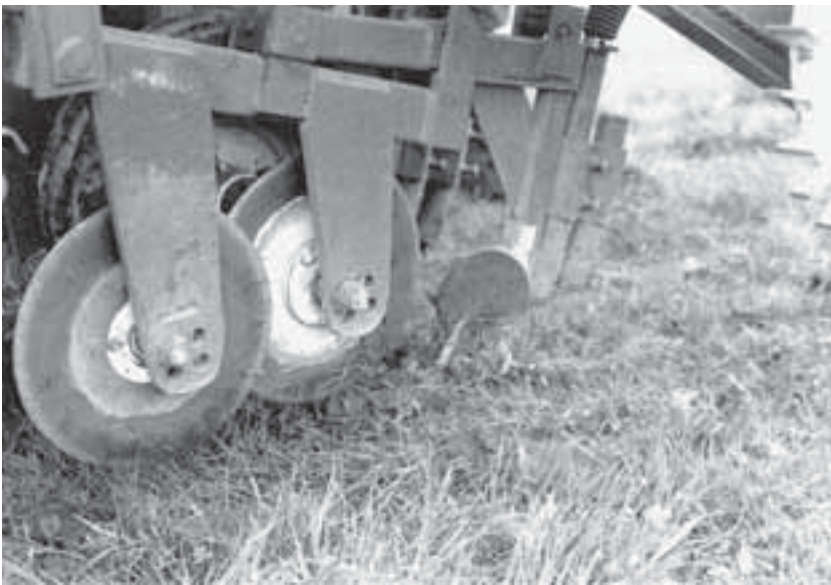


Lámina 20 Abresurcos surcador para labranza cero (de Choudhary *et al.*, 1985).

considerados como herramientas especializadas diseñadas solamente con ese propósito.

Abresurcos vibradores

Varios diseñadores han intentado reducir las fuerzas necesarias para empujar hacia abajo y hacia adentro de la tierra los discos y otros componentes de los abresurcos para labranza cero por medio de la vibración de los abresurcos. Tal función es particularmente exigente cuando se aplica a un disco, ya que el mecanismo de vibración debe operar sobre el centro del disco a medida que este rota y además moverse hacia arriba y abajo en respuesta a las ondulaciones naturales de la superficie del suelo. Se han usado motores hidráulicos vibradores en abresurcos individuales que, sin embargo, incrementan considerablemente el costo, la complejidad y la potencia necesaria. La baja velocidad de operación y la dificultad de mantener todos los tornillos y las tuercas apretados a causa de las vibraciones de la máquina es también otra desventaja.

La fuerza y la acción de los componentes contra el suelo es lo que determina o no el éxito biológico de los abresurcos para labranza cero, más que las fuerzas necesarias para la penetración o el tiro. Los abresurcos vibratorios no mejoran la confiabilidad biológica. Muchos diseñadores han encontrado que es más económico agregar pesos y/o usar un tractor de mayor potencia para vencer las fuerzas de penetración y de tiro que fabricar complejos aparatos vibratorios.

Aberturas horizontales

Aberturas en forma de T invertida

Todos los abresurcos discutidos hasta ahora han sido adaptaciones de abresurcos diseñados originalmente para suelos labrados, con la excepción de los abresurcos especializados,

surcadores y vibradores. Las modificaciones a tales abresurcos, cuando se emplean en operaciones para labranza cero, han sido sobre todo para hacer equipos más robustos con solo cambios mínimos en sus funciones.

Las ranuras en forma de T invertida son la única forma de ranura horizontal para labranza cero y es una de las pocas formas que han sido desarrolladas específicamente para objetivos de labranza cero, con pocas funciones posibles en suelos labrados.

Las ranuras en forma de T invertida fueron desarrolladas cuando los investigadores exploraron alternativas geométricas a las formas más comunes en V y U para superar varias de sus desventajas (Baker, 1976a). Los investigadores entendieron que una forma radicalmente diferente sería invertir la forma en V con una parte superior ancha y una base angosta y crear en su lugar una parte superior angosta y una base ancha. En términos prácticos, la forma más simple para obtener este resultado fue construir un abresurcos con un cincel vertical y alas subsuperficiales horizontales inclinadas hacia abajo y hacia el frente en el plano longitudinal.

La otra razón que apoya el concepto fue que la máquina era capaz de doblar el suelo cubierto de residuos sobre la ranura para la conservación de la humedad y la protección de las plántulas. Dado que las alas tenían la tendencia a cortar la capa superficial del suelo con una acción horizontal, esto permitiría la formación de pisos horizontales en ambos lados del corte vertical. En la mayoría de las condiciones la acción de las alas también crea solapas horizontales de suelo cubierto con residuos con los cuales se recubre el piso de las ranuras. Este fue uno de los principales objetivos del concepto de la T invertida para crear ranuras horizontales con un alto grado de control y predecibilidad.

También se desarrolló el concepto de abresurcos de dos alas, las cuales también crearon esencialmente las mismas ranuras en forma de T invertida.

Abresurcos de un ala

El primer abresurcos con diseño de solo un ala consistía de un cincel vertical que tenía en su base una punta hueca (Baker, 1976a, b). La Figura 8 muestra el diseño original del abresurco con ala. El abresurco era hueco para permitir el paso de la semilla y abierto en la parte posterior. El cincel se curvaba hacia atrás y en la base en ambos lados para formar un par de alas simétricas inclinadas 10° hacia abajo y hacia el frente y proyectadas lateralmente 20 mm en cada lado.

Delante del cincel se colocaba un disco plano vertical para dar un corte vertical neto a través de la pastura. El disco delantero no prestaba la función de limpiar los residuos de la superficie delante del abresurco (ver Capítulo 10), sino de asegurar el pasaje del abresur-

co a través del tapiz de la pastura con un mínimo de rotura de la hierba y disrupción de la superficie.

Una compañía comercial en Nueva Zelanda adaptó exitosamente el concepto de abresurco con ala para la renovación de pasturas. Esta oportunidad comercial estaba basada en que la existencia de tierras de pastoreo en el mundo es seis veces mayor que la tierra arable cultivada (Kim, 1971; Brougham y Hodgson, 1992), si bien no todas las tierras de pastoreo del mundo son accesibles a los tractores.

El diseño fue simplificado haciendo el cincel con una lámina de acero y soldando un disco plano vertical en su borde posterior para hacer un corte de suelo delante de esta zona. La entrega de las semillas fue alterada desde el mismo abresurcos hueco a un tubo permanente colocado detrás del disco plano vertical

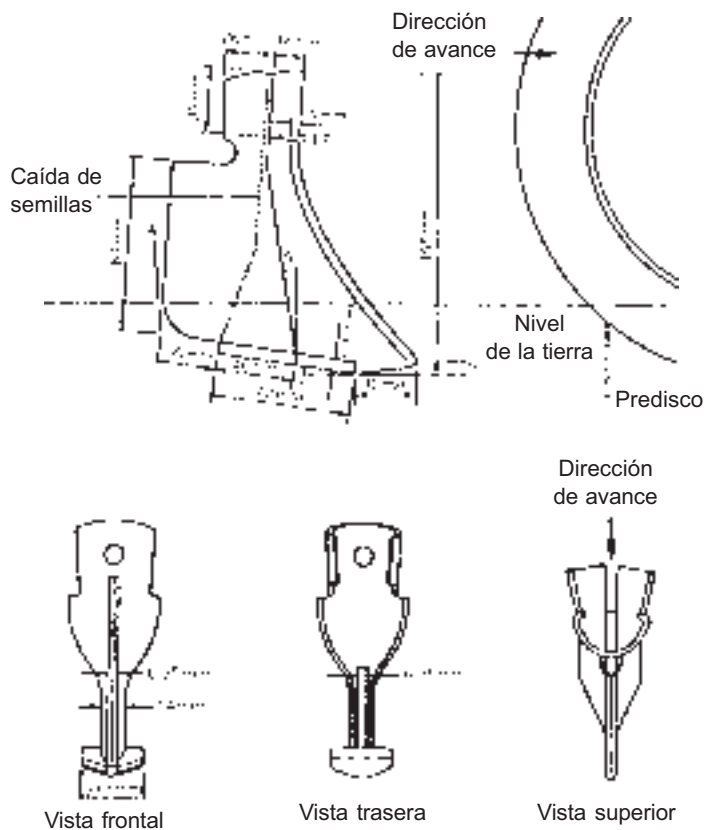


Figura 8 Abresurcos original en forma de T invertida para labranza cero (de Baker, 1976b).

porque a medida que el abresurcos se desgastaba, debía ser eventualmente reemplazado; el diseño modificado permitiría conservar el tubo de semillas y solo una mínima parte del componente debería ser descartado, lo que reducía así su costo. También se pensó que el corte del suelo delante del disco plano reduciría el gasto del abresurcos en esa zona. Más adelante, otros diseños proporcionaron bordes delanteros reversibles y reemplazables, con revestimiento de tungsteno en el abresurco, para intentar reducir los efectos del desgaste de esos elementos. La Lámina 21 ilustra varios tipos del mismo abresurcos modificado, los cuales se conocieron genéricamente como «*Baker boot*», según el nombre del creador del principio de T invertida.

Lamentablemente, algunos de esos beneficios en los diseños modificados se lograron a costa de mantener el control de la forma exacta de la abertura. El espesor del corte del suelo que es retenido por el disco plano vertical es función del tipo de suelo, su adherencia y el contenido de humedad. Como resultado, en suelos adherentes es común que este corte sea más ancho que las alas y que la función para la cual se diseñaron las alas de corte debajo de la capa superficial del suelo se pierda y el

abresurcos a veces funcione como un corte que crea una ranura en forma de U.

Si bien varios fabricantes produjeron versiones casi idénticas del abresurcos modificado, no todos incluyeron el disco delantero tal como se planificó originariamente; como consecuencia, los bordes de las ranuras a menudo se interrumpían o eran inconsistentes por lo que el control del cierre de la ranura era difícil o imposible. Dado que el objetivo primario de un abresurcos simple era el bajo costo, muchos modelos adjuntaron el abresurcos a sembradoras simples que tenían un limitado control de la profundidad (Lámina 22). Un modelo presentaba un eje vertical delante de cada abresurco para ayudar a tomar las curvas (Lámina 23).

A pesar de estos problemas, la versión modificada del abresurcos simple con forma de T invertida tuvo éxito para el objetivo de renovación de pasturas. Su principal ventaja era que la ranura en T invertida, si bien poco elaborada, demostró ser más tolerante a condiciones secas o húmedas del suelo (ver Capítulos 6 y 7) que casi todos los otros tipos de abresurcos; como resultado, los procesos de renovación de pasturas mejoraron notablemente.

Las mayores desventajas de estos abresurcos han sido que al tener un cincel rígido



Lámina 21 Varias versiones del abresurcos «*Baker boot*» en forma de T invertida para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 22 Sembradora simple con el «Baker boot» en forma de T invertida para abresurcos para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

tienen escasas condiciones para manejar los residuos y su velocidad de operación es baja. Además, cuando se adjunta a sembradoras simples, su capacidad para seguir las ondulaciones de la superficie es limitada.

Otros modelos utilizan el concepto de abresurcos con alas para separar la descarga de la semilla y el fertilizante en dos o más bandas horizontales (doble o triple vástago). La Lámina 24 muestra un abresurcos con alas y doble vástago.

*Abresurco de alas basado
en un disco central*

Dados los buenos resultados biológicos obtenidos en numerosos experimentos con el concepto de ranuras en forma de T invertida llevados a cabo en Australia, Canadá, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia y Perú, fue evidente que los problemas del abresurcos simple podían ser superados por medio de una versión que se demostrara adecuada tanto para el trabajo en tierras arables como



Lámina 23 Sembradora simple con la versión auto-dirigida del «Baker boot» en forma de T invertida para abresurcos para labranza cero.

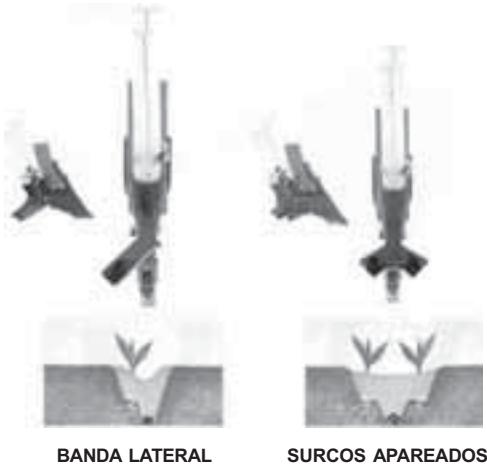


Lámina 24 Dos versiones de los abresurcos con ala de doble vástago.

para la renovación de pasturas. En resumidas cuentas, la labranza reiterada de las tierras arables es la que ha perjudicado los suelos más productivos del mundo. El potencial de la labranza cero para revertir este proceso es fundamental para la sostenibilidad a largo plazo de la producción mundial de alimentos.

Varios principios funcionales fueron considerados esenciales para la construcción de un abresurco que reuniera las características anteriores:

1. El aspecto más importante fue mantener la forma de T invertida de la ranura aun a altas velocidades y en siembras poco profundas.
2. La habilidad para reponer los residuos sueltos sobre el suelo suelto y cubrir la ranura horizontal, así como recubrir con material sin estructura, previamente no labrado, tal como partes del tapiz de hierbas.
3. Separación efectiva de las semillas y el fertilizante dentro de la ranura con un solo abresurco y cumplir esta función en forma confiable en un amplio rango de tipos de suelos, contenido de humedad y velocidades.
4. Manejo sin bloqueo de los residuos superficiales, incluso en surcos angostos

(150 mm), en condiciones difíciles que van desde restos secos o húmedos hasta restos entretrejidos, restos de tapiz enraizado y en suelos variables, de blandos y húmedos a duros y secos.

5. Cierre automático de la ranura, sin una compactación indebida del suelo para la emergencia de las plántulas.
6. Capacidad de mantener constante la profundidad de siembra siguiendo consistentemente la superficie del suelo.
7. Repuestos económicos y piezas fácilmente reemplazables en el campo.

El modelo resultante mostrado en la Lámina 25 tiene principios de trabajo bastante distintos de cualquier otro abresurco diseñado para suelos labrados o no labrados (Baker *et al.*, 1979c). Esencialmente, la versión con disco del abresurco con alas surgió de la división en forma vertical y horizontal del abresurco con un ala y adosando el interior de los



Lámina 25 Una versión de discos del abresurco de ala para crear ranuras en T invertida.

bordes delanteros de los dos lados contra un disco central. Está centrado en un solo disco vertical central (liso o dentado) que corre al frente para cortar los residuos y la parte vertical de la apertura en el suelo. Las hojas con dos alas laterales están colocadas en el interior de los bordes delanteros en ambos lados del disco central. Este principio patentado mueve efectivamente los residuos de las hojas laterales sin bloquearse.

Las hojas laterales aladas cortan ranuras horizontales en cada lado del disco a la profundidad de siembra, y levantan el suelo. La semilla y el fertilizante fluyen por un canal especial entre los lados de las hojas y el disco y son colocados en la parte horizontal de la ranura. Para obtener este resultado las hojas laterales son mantenidas suficientemente distantes del disco a fin de formar un pasaje para las semillas y el fertilizante. Tal pasaje es angosto en comparación con los diseños de otros abresurcos pero el movimiento de las semillas grandes es facilitado por el hecho de que un lado del pasaje comprime el lado móvil del disco giratorio.

La hoja para el fertilizante puede ser ligeramente más larga que la hoja para las semillas, de modo que el fertilizante pueda ser separado de las semillas tanto vertical como horizontalmente e incluso diagonalmente, si bien en muchas circunstancias se ha demostrado que la separación horizontal es suficiente y, en algunos casos, preferible (Fick, 2000).

Dos ruedas semineumáticas, anguladas, siguen las hojas para restablecer el suelo levantado y los residuos, y cierran efectivamente la ranura. También regulan la profundidad de cada abresurco en forma independiente para seguir de la mejor forma la superficie del suelo y ejercer un cuidadoso control de la profundidad. Cada abresurco es montado en brazos paralelos necesarios para mantener el ángulo poco profundo del ala a la profundidad de siembra y controlar la superficie del terreno.

La Lámina 26 muestra un diagrama con la representación horizontal de las semillas sepa-



Lámina 26 Separación horizontal de la semilla y el fertilizante en la versión con disco de un abresurco con alas.

radas del fertilizante (doble vástago) con la versión de disco del abresurco con alas. La separación de la semilla y el fertilizante y la siembra de ambos con el mismo abresurco simplifica enormemente el diseño de las sembradoras para labranza cero y reduce la demanda de potencia. La colocación del fertilizante en bandas se ha convertido en una función esencial para una siembra exitosa de labranza cero de muchos cultivos (ver Capítulo 9). Pocos o ningún abresurcos para labranza cero cumplen efectiva y simultáneamente estas importantes funciones en una amplia gama de suelos y a una velocidad razonable.

El abresurco es diseñado especialmente para la labranza cero en superficies con abundantes residuos y tapiz herbáceo en los que la siembra y la fertilización simultáneas son una prioridad. Dado que la inclinación de las alas es de solo 5° con la horizontal (comparada con 10° de la versión en T invertida), es posible sembrar a profundidades de solo 15 mm. También funciona bien, sin modificaciones, donde hay abundantes residuos, en pasturas o en campos deportivos (Ritchie, 1988) y puede ser usado sin modificar para sembrar todo tipo de cultivos y pasturas así como la siembra

de precisión de hortalizas (Ritchie y Cox, 1981), otros cultivos de huerta y maíz. Por lo general retiene 70-95 por ciento de los residuos intactos. La Lámina 27 muestra un 95 por ciento de retención de residuos después del pasaje de un abresurcos en forma de T invertida con la versión de disco.

La principal ventaja de la versión con disco del abresurco de forma de T invertida son que satisface todos los requerimientos de los objetivos del diseño citados anteriormente. El mismo abresurcos puede ser usado sin modificaciones para las sembradoras de precisión así como en la siembra de granos y renovación de pasturas en la agricultura con labranza o en los casos de labranza cero.

Sus desventajas radican en que tiene un ligeramente mayor requerimiento de potencia de tiro, es relativamente costoso y requiere un bastidor muy fuerte de la sembradora para ase-



Lámina 27 Reposición casi completa de los residuos sobre la ranura creada por la versión con disco de un abresurco en forma de T invertida (cobertura clase IV).

gurar su buen funcionamiento. El costo relativamente alto puede ser contrabalanceado por su capacidad para maximizar y aun mejorar los rendimientos de los cultivos, más que los beneficios comunes obtenidos con otros abresurcos para labranza cero o incluso para labranza común (Saxton y Baker, 1990). La aparente desventaja económica cuando se considera en el conjunto del contexto se transforma en rentable.

Siembra a golpes

Las sembradoras a golpes hacen pequeños huecos en el suelo en los cuales se colocan una o más semillas antes de pasar al próximo hueco. Los primeros agricultores usaban palos aguzados para hacer los huecos ya que la energía disponible era insuficiente para hacer ranuras continuas y aprovechar la conveniencia del flujo continuo de semillas y fertilizantes.

La ingeniería moderna ha intentado mecanizar la siembra a golpes de modo que pueda ser hecha con menos trabajo humano y con mayor seguridad y velocidad. Los equipos creados en su mayoría tienen ruedas de acero con puntas abiertas insertadas en sus aros. Esas puntas están unidas en su base de modo que se puede forzar su apertura, tal como el pico de un pájaro. La Lámina 28 muestra un ejemplo de un prototipo de sembradora a golpes mecanizada.

En su operación, las funciones de apertura y cierre son hechas por una excéntrica sincronizada con un distribuidor de semillas. Después que cada punta ha penetrado en el suelo, una semilla o grupo de semillas cae por un tubo localizado en el centro de la rueda, pasa a través de un hueco hecho en el aro, entra en la punta abierta y deposita la semilla en el suelo a una profundidad y distancia controladas.

Las sembradoras a golpes mecanizadas fueron consideradas como una solución positiva para mecanizar una práctica muy antigua. Sin embargo, su relativa complejidad mecánica ha impedido una difusión más amplia. La

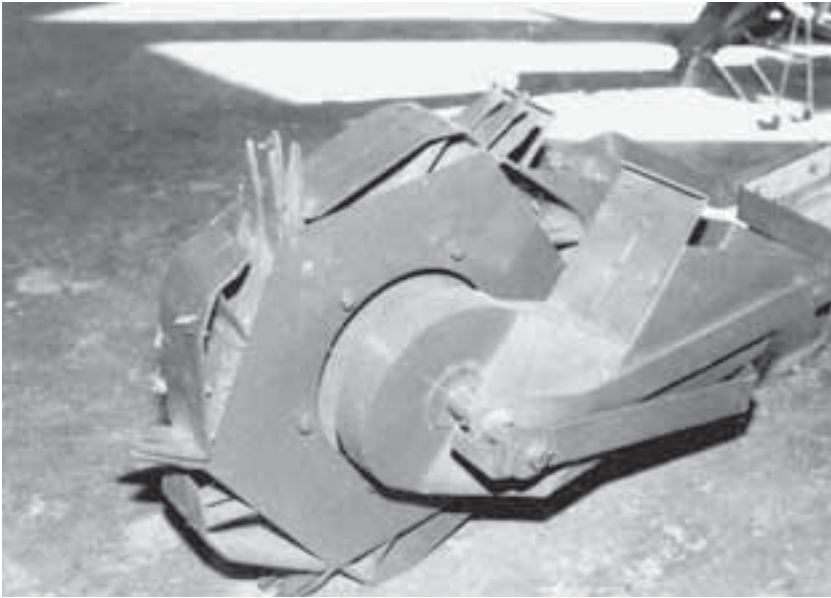


Lámina 28 Prototipo de una sembradora a golpe mecanizada (de Baker, 1981a, b).

creación de agujeros en forma de V tiene todas las desventajas de las ranuras continuas en forma de V. Esto incluye el entretrejido de los residuos en los agujeros, dificultades para cerrar los huecos y las puntas que ejercen cierta fricción que compacta el suelo debajo y a lo largo de la zona de las semillas.

Siembra a voleo en superficie

No es necesario explicar esta técnica que también tiene orígenes muy antiguos y es utilizada en razón de la ausencia de fuentes de energía para soluciones con un mayor grado de mecanización. Existe maquinaria moderna capaz de mecanizar el proceso de esparcimiento de las semillas a voleo con mayor velocidad y seguridad; sin embargo, la ausencia de la certeza de la colocación de las semillas debajo del suelo aumenta significativamente los riesgos biológicos, entre ellos la desecación, el ataque de pájaros, insectos o roedores y otros.

La siembra a voleo no es una práctica recomendada excepto en casos de baja disponibilidad de energía y solamente cuando la lluvia y la humedad son tan predecibles y confiables que se puede asegurar la germinación y el enraizamiento de las plántulas. En favor de la labranza cero se encuentra la retención de los residuos muertos sobre la superficie que forman un dosel protector debajo del cual, muy probablemente, la humedad es mayor que en el aire ambiental (ver Capítulo 6). Durante muchos años la investigación ha demostrado que la colocación efectiva de las semillas y el fertilizante debajo del suelo produce mejores rendimientos, que no se pueden repetir con la siembra a voleo.

Una solución para la siembra a voleo, que reduce el riesgo, es la siembra durante la cosecha y desde la cosechadora con el objetivo de que la semilla sea cubierta por la paja que cae desde la misma. Esto asegura un cierto grado de cobertura de las semillas a pesar de que el éxito con este sistema depende en gran medida del clima y no hay oportunidad de

colocar los fertilizantes en un lugar estratégico en el momento de la siembra. Un período seco después de la cosecha aumenta las posibilidades de fracaso. La Lámina 29 muestra un sistema colocado en la parte posterior de la mesa de corte de la cosechadora.

Resumen de los abresurcos de las sembradoras y la forma de las ranuras

Las importantes funciones de los abresurcos se resumen en su capacidad para:

1. Crear un microambiente adecuado para las semillas y las plántulas.
2. Evitar la compactación y el alisado de las paredes de las ranuras.
3. Manejar los residuos superficiales sin bloquearse.
4. Micromanear los residuos superficiales de modo que queden en una posición ventajosa para las semillas y las plántulas y para el suelo en general.
5. Colocar semillas y fertilizantes en bandas y en forma simultánea pero separados para evitar que se «quemem» las semillas.
6. Evitar que los residuos se entretejan o que afecten la germinación de las semillas.
7. Cerrar la ranura por sí solo.
8. Controlar de forma segura la profundidad de siembra.
9. Seguir cuidadosamente las irregularidades de la superficie del terreno que se encuentran naturalmente en la labranza cero.

Las distintas formas de ranuras hechas por los abresurcos para labranza cero se pueden resumir como sigue:

1. Verticales u horizontales.
2. Las ranuras verticales son en forma de V o de U.
3. Las ranuras horizontales por lo general son en forma de T invertida.
4. Las ranuras en V y en U también pueden ser inclinadas o verticales.
5. En comparación con las ranuras continuas, las semillas pueden ser sembradas en huecos (siembra a golpes) o a voleo superficial, sobre todo cuando hay limitaciones de energía.
6. La mayoría de las ranuras verticales en V y algunas inclinadas en V son adaptaciones de ranuras originariamente diseñadas para suelos labrados.



Lámina 29 Sembradora a voleo colocada detrás de la mesa de corte de la cosechadora.

7. La mayoría de las ranuras horizontales en forma de T invertida fueron específicamente diseñadas para la siembra en labranza cero.
8. Las ranuras en forma de V son hechas principalmente por abresurcos de doble o triple disco.
9. Las ranuras en forma de U pueden ser hechas por abresurcos de azada, disco plano angulado, disco cóncavo angulado, movidos por la toma de fuerza o por surcadores.
10. Las ranuras en forma de T invertida son hechas por abresurcos con alas.
11. Las prácticas de siembra en huecos o a voleo son muy antiguas pero también han sido mecanizadas.
12. Hay más riesgo de un mal establecimiento de las plantas con la siembra a voleo que cuando la semilla se coloca debajo del suelo con abresurcos.

La acción de los abresurcos en el suelo varía según su diseño:

1. Los abresurcos verticales de doble disco en el suelo predominantemente cortan, entretejen y compactan.
2. Los abresurcos de doble disco inclinados cortan y levantan la parte superior y compactan la parte inferior.
3. Las sembradoras a golpe entretejen y compactan.
4. Los abresurcos de azada levantan e hinchan y además cortan si son precedidos por un disco.
5. Los abresurcos movidos por toma de fuerza cortan, mezclan y pulverizan.
6. Los abresurcos con discos verticales planos angulados, cortan, raspan y arrojan el suelo.
7. Los abresurcos con discos planos angulados y los abresurcos con discos inclinados planos angulados inclinados cortan, raspan, doblan y/o arrojan el suelo.
8. Los abresurcos con alas levantan y doblan y, si tienen disco, cortan.

Las ventajas y desventajas de los distintos modelos de abresurcos son:

1. *Los abresurcos de doble y triple disco* son de bajo mantenimiento y tienen buen manejo de los residuos. Sus desventajas son las ranuras en forma de V, especialmente las verticales; necesidad de alta fuerza de penetración; compactación y alisado del suelo; dificultad de la cobertura: no separan la semilla del fertilizante (excepto en casos específicos); implantación de las semillas en residuos entretejidos.
2. *Los abresurcos sembradores a golpe* requieren baja energía y mantenimiento. Sus desventajas son la complejidad mecánica, la lentitud, la compactación de los huecos, dificultad en la cobertura y falta de separación de la semilla y el fertilizante.
3. *Los abresurcos de azada* son de bajo costo, no entretejen los residuos y requieren una fuerza razonable de penetración. Sus desventajas incluyen un escaso manejo de los residuos, alto desgaste del equipo, alisado en los suelos húmedos y falta de separación de la semilla y el fertilizante, excepto en casos específicos.
4. *Los abresurcos movidos por la toma de fuerza* mezclan la materia orgánica no descompuesta con el suelo, no entretejen los residuos, tienen baja fuerza de penetración, entierran las semillas y diluyen el fertilizante con el suelo. Sus desventajas son un pobre manejo, destrucción de los residuos, labranza, compactación de la base de las ranuras, dificultad para manejar las piedras y los suelos adherentes, costo, complejidad mecánica, estímulo para las semillas de malezas, alto costo de mantenimiento y falta de separación de la semilla y el fertilizante.
5. *Los abresurcos verticales con discos planos angulados* tienen razonable fuerza de penetración, revuelven el suelo, buen manejo de los residuos y no hay alisado o compactación. Sus desventajas son la siembra sobre residuos entretejidos, falta

de separación de las semillas y los fertilizantes (excepto en casos específicos) y son afectados por la velocidad de marcha.

6. *Los abresurcos con discos planos angulados y abresurcos inclinados con discos planos* mezclan el suelo, tienen buen manejo de los residuos y no alisan o compactan. Sus desventajas son la necesidad de una alta fuerza de penetración, la implantación de semillas en residuos entretejidos, falta de separación de la semilla y el fertilizante (excepto en casos específicos) y son afectados por la velocidad de marcha.
7. *Los abresurcos simples de ala* producen ranuras en forma de T invertida que se cierran fácilmente, emergencia de las plántulas confiable y no entretejen los residuos.
8. *Los abresurcos de ala con discos* (sobre un disco vertical) producen ranuras en forma de T invertida, cubren las ranuras, la emergencia de las plántulas es confiable, separación horizontal o diagonal de la semilla y el fertilizante, buen manejo de los residuos y micromanejo, no implantan semillas en residuos entretejidos, trabajan a alta velocidad, baja compactación, bajo estímulo de las semillas de malezas y bajo costo de mantenimiento. Sus desventajas son el alto costo inicial y el requerimiento de alta fuerza de penetración.

5

La función de la cobertura de las ranuras

C. John Baker

En la labranza de conservación el elemento que tiene más influencia sobre la emergencia de las plántulas es la naturaleza de la cobertura de las ranuras.

Observando las ranuras (surcos o aperturas) del suelo sembrado después del pasaje de las sembradoras para labranza cero se verán varios tipos de cobertura de las semillas y de ranuras que a continuación se describen en las cinco clases siguientes (Baker *et al.*, 1996):

1. Clase I: semillas visibles (Lámina 30). Poco o ningún suelo cubre la semilla.
2. Clase II: suelo suelto (Lámina 31). Suelo suelto o una pequeña cantidad de residuos superficiales (menos del 30 por ciento) que ha sido recolocado sobre el surco para cubrir las semillas.
3. Clase IIIa: residuos y suelo intermitentes (Lámina 32). Hay una cantidad variable de residuos (30 por ciento o más) sobre el suelo que cubre las semillas.
Clase IIIb: mezcla parcial de residuos y suelo (Lámina 33). Esta mezcla (más del 30 por ciento) está dentro del suelo y no sobre este; el suelo suelto cubre la ranura.
4. Clase IV: mezcla completa de residuos y suelo (Láminas 34 y 35). El suelo y una cubierta de hasta un 70 por ciento de residuos han sido llevados sobre la ranura en casi la misma posición en que estaban an-

tes de la siembra; la mayor parte del suelo cubre los residuos que a su vez cubren las semillas.

La base de estas clasificaciones fue descrita por Baker (1976a, b, c) y Baker *et al.* (1996)

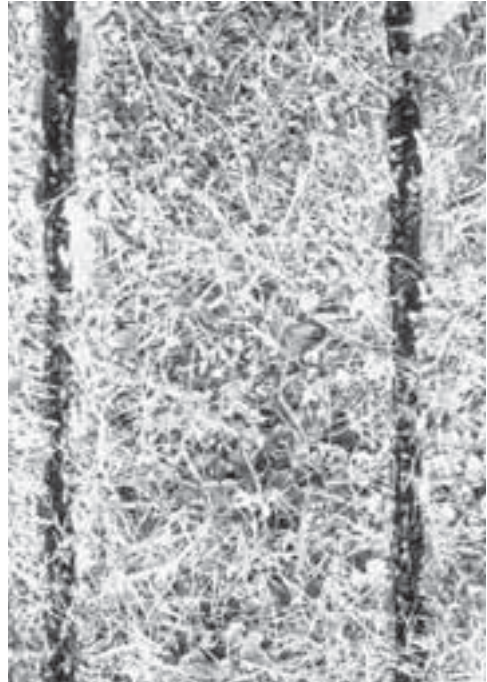


Lámina 30 Semillas visibles en la cobertura de una ranura Clase I en labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 31 Un ejemplo de cobertura de una ranura Clase II en labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 32. Un ejemplo de cobertura de ranura Clase IIIa en labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

quienes observaron que cuando las semillas estaban bajo una cobertura intermitente de suelo y residuos (Clase IIIa), en condiciones secas,

emergían a través de una capa de hierba muerta o de residuos y suelo, pero no habían emergido donde la cobertura era solo de suelo o donde



Lámina 33 Un ejemplo de cobertura de ranura Clase IV en labranza cero sobre abundantes residuos en pie de trigo y paja desparramada (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 34 Un ejemplo de cobertura de ranura Clase IV en labranza cero sobre malezas poco densas. Notar el movimiento y recolocación de los residuos disponibles en su posición original y la ausencia de inversión del suelo después del pasaje de la sembradora (de Baker *et al.*, 1996).

no había cobertura. Esto sugirió que la cobertura con suelo podría no ser la mejor, tal como previamente se había asumido.

De hecho, algunos ingenieros y agrónomos continúan, en forma equivocada aún hoy día, a suponer que la mejor cobertura para las semillas es un suelo suelto (Clase II). Esta suposición tiene su origen en las camas de semillas que se han preparado para la labranza tradicional durante siglos. En los suelos muy labrados no existen residuos de ningún tipo. Generalmente, han sido enterrados o quemados antes de la labranza.

El único otro recurso disponible para la cobertura además de suelo limpio y suelto, es tal vez el efecto de la presión de las ruedas que causan una ligera compactación, si bien ese beneficio es dudoso. Por esta razón, el suelo suelto ha sido considerado como la mejor cobertura, por lo menos en los suelos labrados.

En base a la suposición de que «el suelo suelto es lo mejor» algunos ingenieros postularon que para la labranza cero era necesario labrar el suelo en una serie de fajas y sembrar en esas fajas labradas tal como se haría en un suelo completamente labrado; en este caso se dejaría entre las fajas el resto de la cama de semillas sin labrar. Esta forma de labranza en fajas ha sido descrita anteriormente en el Capítulo 4.

Lamentablemente, esta visión simple no tiene bases científicas y se sabe ahora que destruye varios recursos muy especiales cercanos a la semilla que presentan muchos suelos sin labrar: la cobertura de residuos, un sistema de macroporos sin romper dentro de la zona de las semillas y la humedad en equilibrio en el suelo, cercana al 100 por ciento.

La función de la humedad del suelo

La atmósfera de los macroporos dentro de un suelo cubierto de residuos y sin labrar tiene un punto de equilibrio de humedad cercano al 100 por ciento (Scotter, 1976) hasta el

«punto permanente de marchitez» que es aquel en que el suelo está demasiado seco para permitir la sobrevivencia de las plantas. De hecho, esta es del 99,8 por ciento, incluso en el punto de marchitez (tensión kPa 1 500). En la siembra de labranza cero, el suelo es roto solamente por las ranuras en la superficie donde han pasado los abresurcos de la sembradora. La mayor pérdida de humedad del suelo hacia la atmósfera ocurre en esas ranuras. El objetivo, por lo tanto, de sembrar en suelos secos debería ser el de crear ranuras que no favorezcan la pérdida de humedad de esas zonas ya que es el lugar en que son colocadas las semillas; estas requieren humedad para iniciar el proceso de crecimiento de la planta.

La clasificación de las coberturas citada anteriormente está ordenada en orden ascendente de retención de humedad. Una cobertura «completa» (70 por ciento o más) de suelo y/o residuos (Clase IV) retiene más humedad que una cobertura intermitente de suelo y residuos (30 al 70 por ciento de residuos, Clase III) que es mejor que el suelo suelto (menos del 30 por ciento, Clase II), el cual a su vez es mejor que sin cobertura (Clase I).

Choudhary (1979) y Choudhary y Baker (1981b) midieron la pérdida diaria de humedad relativa (HR) de varias formas diferentes de ranuras de suelo bajo condiciones controladas de sequedad con temperaturas constantes. Usaron la pérdida promedio diaria de humedad relativa (HR) para los primeros tres días después de la siembra y computar un valor índice de la capacidad de una ranura para retener la humedad, o sea el potencial de humedad de vapor cautivo (MVPC).

$$\text{MVPC} = \frac{1}{(\text{promedio de tres días de pérdida de HR } \%)}$$

El Cuadro 3 presenta los resultados de dos experimentos separados en los cuales Choudhary colocó un pequeño medidor de humedad en posiciones que serían normalmente ocupadas por

Cuadro 3 Efecto de la forma de la ranura y la cobertura sobre la tasa de secado de la ranura y el potencial de vapor cautivo (MVPC).

	Ranura en V (cobertura Clase I)		Ranura en U (cobertura Clase II)		Ranura en T invertida (cobertura Clase IV)	
	Pérdida diaria de HR (%)	MVPC	Pérdida diaria de HR (%)	MVPC	Pérdida diaria de HR (%)	MVPC
Experimento 1	4,23	0,24	2,78	0,36	2,34	0,43
Experimento 2	3,13	0,32	2,03	0,49	1,02	0,98
Promedio	3,68	0,28	2,41	0,43	1,68	0,71

MVPC = 1/(promedio de tres días de pérdida de HR).

las semillas dentro de las ranuras abiertas en un suelo seco. Recipientes de suelo sin disturbar (de peso de 0,5 cada uno) fueron colocados en ambientes controlados a temperatura ambiente y HR constante del 60 por ciento.

La humedad relativa es una medida de la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera del suelo a cualquier temperatura. La fuente de abastecimiento de vapor de agua en las ranuras sembradas es el ambiente que las rodea ya que el equilibrio de la humedad relativa está siempre cerca del 100 por ciento (por lo general es menos del 100 por ciento de humedad relativa salvo cuando llueve o hay nieblas densas); la tasa de escape de vapor de agua hacia la atmósfera del suelo está controlada por la resistencia a la difusión de los gases que pasan a través del medio de cobertura en o sobre la ranura. Al menos por unos pocos días después de la siembra, las temperaturas del suelo (e incluso dentro de la ranura) pueden permanecer a niveles relativamente constantes (Baker, 1976a). Por lo tanto, las mediciones de la humedad relativa en las aberturas a esas temperaturas constantes reflejan con precisión la cantidad de vapor de agua (o de la presión de vapor de agua) en la ranura en ese momento.

Los valores más altos de MVPC (o los valores más bajos de pérdidas de humedad relativa en porcentaje) para las coberturas de Clase IV indican que esa ranura tuvo, por ejemplo, un mayor potencial de retención de vapor de

agua dentro de la ranura que la cobertura de la Clase II, la cual a su vez tuvo una mayor retención de vapor de agua y menor pérdida diaria (en porcentaje) de humedad relativa que la cobertura de Clase I. En estos experimentos, la cobertura de Clase IV fue, de hecho, 65 por ciento mejor que la clase II y un 154 por ciento mejor que la Clase I, respecto a la retención de humedad dentro de la ranura. La Clase III no fue incluida en el experimento.

También fueron estudiados los efectos de la transferencia de humedad del microambiente de la ranura variando la humedad del aire a una temperatura constante (Choudhary, 1979; Choudhary y Baker, 1980, 1981b). La humedad dentro de las ranuras se incrementó a medida que la humedad relativa del ambiente aumentó del 60 al 90 por ciento. Las formas de ranura en las cuales la humedad se incrementó más rápidamente con el aumento de la humedad ambiental obviamente disminuirán (se secarán) más rápidamente después de la siembra y serán menos favorables para la germinación de las semillas y el establecimiento de las plantas. El cambio más rápido se encontró en las ranuras abiertas en forma de V (cobertura Clase I) en las que la humedad relativa se incrementó a razón de un 8 por ciento diario seguidas por las ranuras en forma de U (cobertura Clase II), seguida a su vez por las ranuras en forma de T invertida (cobertura Clase IV) con un incremento de solo un 1 por ciento diario.

Para las ranuras en forma de T invertida (cobertura Clase IV), la tasa de rehumedecimiento fue casi la misma que la tasa de secado (aproximadamente un 1 por ciento diario), pero para la ranura en forma de V (cobertura Clase I) la tasa de rehumedecimiento fue de cerca del doble de su secado. Esto confirmó que la cobertura de la Clase I contribuyó escasamente a aislar el microambiente de la ranura de las condiciones ambientales cambiantes, mientras que la cobertura de Clase IV había efectivamente aislado la ranura de los cambios climáticos y retuvo una alta humedad atmosférica en la misma.

Desde un punto de vista práctico, si se siembra en un suelo favorable y la semana siguiente es dominada por vientos calientes y secos, la ranura debería haber presentado un hábitat ideal para las semillas en el momento de la siembra; sin embargo, se podría transformar en un ambiente hostil, salvo cuando la ranura está protegida para esos cambios climáticos por medio de una cobertura adecuada. Choudhary y Baker (1982) mostraron que la labranza cero con ranuras de cobertura de Clase IV permitía la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas en suelos que eran demasiado secos para permitir la germinación de las semillas tanto en labranza convencional como con otros abresurcos para labranza cero.

Un experimento de campo en Manawatu, Nueva Zelanda, antes de que fuera evaluada la cobertura de Clase IV (Baker, 1976a, c), indicó que el suelo suelto (coberturas Clase II y III) es mejor que ninguna cobertura (cobertura Clase I). En este experimento, se sembró cebada (*Hordeum vulgare*) a fines de la primavera usando abresurcos de azada (ranuras en forma de U) en un suelo arcilloso sedimentario con humedad adecuada. La mitad de los surcos sembrados fueron cubiertos pasando una rastra de barras (cobertura Clase IIIa) y en la otra mitad las ranuras quedaron tal como fueron dejadas por la sembradora (esencialmente sin cubrir, cobertura Clase I). El período después de la siembra fue cálido, seco y

ventoso. Ocho días después de la siembra, la cobertura de Clase IIIa tenía 205 plantas/m², comparadas con el otro tratamiento que tenía solamente 22 plantas/m².

Un experimento ejecutado simultáneamente y en el mismo suelo mostró que un mayor tamaño de la semilla no compensó una cobertura deficiente. Cuando se esperaba que las semillas más grandes tuvieran más vigor y fueran, por lo tanto, capaces de compensar las dificultades en la emergencia, bajo la labranza cero pareció haber sucedido lo contrario. En este experimento, una especie de semilla pequeña como la alfalfa (*Medicago sativa*) y una especie de semilla grande como el maíz (*Zea mays*) fueron sustituidas por cebada y bajo labranza cero exactamente con el mismo tratamiento. Después de 10 días la alfalfa tenía 118 plantas/m² bajo la labranza con cobertura Clase IIIa y 87 plantas/m² bajo la cobertura Clase I. Después un período similar el maíz tenía 4,6 y 0,3 plantas/m², para las dos clases de cobertura, respectivamente.

Mientras que la cobertura Clase IIIa incrementó la emergencia de las plántulas, tanto con las semillas pequeñas como con las grandes, el incremento fue menor con la alfalfa que con el maíz y la cebada. Las semillas pequeñas de la alfalfa aparentemente tuvieron la posibilidad de encontrarse mejor cubiertas con suelo o residuos, lo cual produjo un microambiente favorable, incluso en la situación de la Clase I, que el ambiente que encontraron las semillas más grandes de cebada, las cuales de cualquier manera quedaron mejor colocadas al respecto que las semillas más grandes del maíz.

Unos pocos días después de las mediciones de este experimento, la lluvia aseguró la germinación de todas las semillas en los tres experimentos y las diferencias entre los tratamientos desaparecieron. Por esta razón, los efectos de la cobertura fueron importantes solo cuando el suelo estaba seco o secándose, si bien, tal como se describe en el Capítulo 7, la cobertura también es importante, por otras razones, en condiciones húmedas.

Como evidencia adicional de la importancia de la cobertura en los suelos húmedos y secos, el Cuadro 4 resume los «mejores» y «peores» tratamientos de 30 experimentos llevados a cabo en Nueva Zelandia entre 1971 y 1985. Cada experimento comparó, entre otras cosas, los efectos de diferentes abresurcos y clases de coberturas bajo diferentes condiciones de humedad del suelo, sobre la emergencia de las plántulas de varios cultivos (Baker, 1979, 1994).

Hay varias tendencias claras que surgen del Cuadro 4 y los experimentos están agrupados en ese sentido. El primer grupo es la tendencia a mejorar la emergencia de las plántulas en las coberturas de las Clases III y IV, donde había residuos superficiales y los suelos eran muy secos (experimentos 1-12) o muy húmedos (experimentos 25-30). A medida que las condiciones de humedad se acercaron al punto óptimo (experimentos 13-18) y/o cuando no había residuos en la superficie (experimentos 19-24), las diferencias entre las clases de cobertura generalmente fueron menores o inexistentes.

Tal vez es más importante señalar la magnitud de las diferencias encontradas en los resultados. El hecho de que diferencias de dos a 14 veces no son comunes en la experimentación agrícola sugirió que la forma de las ranuras y la cobertura tenían una gran influencia en la confiabilidad del éxito de las prácticas de labranza cero, algo que no había sido reconocido o de lo que no se había informado anteriormente; incluso una relación de 1,2:1 significa una ventaja del 20 por ciento para el mejor tratamiento.

Otro hecho a destacar es que, cuando las coberturas de Clase I y II fueron incluidas en las comparaciones, fueron casi invariablemente clasificadas como el «peor» tratamiento o «no mejor que» los otros tratamientos. Raramente superaron a cualquier otro tratamiento, con las excepciones en dos suelos húmedos sin residuos, donde la emergencia de las plántulas fue baja en todos los abresurcos compa-

rados. Por otro lado, las coberturas de las Clases III y IV nunca fueron superadas por ningún otro tratamiento con residuos superficiales en suelos óptimos húmedos o secos.

El Cuadro 4, por razones de simplicidad, incluye solo los «mejores» y «peores» tratamientos. Las comparaciones de otros tratamientos intermedios entre esos extremos no están incluidos. Sin embargo, casi invariablemente, la cobertura de Clase IV produjo una mayor emergencia de plántulas que la cobertura de la Clase III, la cual a su vez superó a la cobertura de la Clase II, especialmente en condiciones secas. Descripciones más detalladas de estas comparaciones se presentan en los Capítulos 6 y 7.

Métodos de cobertura de las ranuras

Hay varios principios involucrados en la cobertura de las ranuras después del pasaje de los abresurcos para labranza cero los cuales a menudo están combinados con un sistema de compresión para obtener un mejor contacto suelo-semillas. Estos métodos son:

1. **Compresión:** mueve el suelo hacia los lados dentro de la ranura raspando los bordes para cubrir y obtener el contacto suelo-semilla.
2. **Rodillo:** presionando verticalmente sobre el suelo a lo largo de la ranura con un rodillo.
3. **Presión:** presionando selectivamente sobre o dentro de la ranura, mediante un rodillo no vertical o presionando principalmente para obtener un contacto suelo-semilla, con sólo un elemento de cobertura.
4. **Arrastre:** raspado de material de la superficie suelta desde la zona de la ranura y haciéndolo caer en la ranura con el único propósito de formar una cobertura.
5. **Deflectores:** desvían suavemente el suelo desde una parte específica de la ranura

Cuadro 4 Efectos de la cobertura de las ranuras sobre la emergencia de las plántulas en 30 experimentos.

	Año	Suelo ^a	Cultivo	Estado de la humedad del suelo y los residuos	Mejor y peor tratamiento y clases de cobertura (mejor):(peor) ^b	Relación de la emergencia de las plántulas (mejor):(peor)
1	1979	S/L	Trigo	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	14:1
2	1971	S/L	Maíz	Seco	(R) az. U/C (III) : az. U (I)	14:1
3	1971	S/L	Cebada	Muy seco	(R) az. U/C (III) : az. U (I)	9,5:1
4	1972	S/L	Cebada	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : az. U/C (II)	6:1
5	1979	FS/L	Trigo	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	5,5:1
6	1976	FS/L	Trigo	Seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	3:1
7	1971	S/L	Rábano	Seco	(R) az. U/C (III); az. U (I)	2:1
8	1979	S/L	Trigo	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,7:1
9	1979	FS/L	Trigo	Adecuado	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,6:1
10	1979	S/L	Alfalfa	Muy seco	(R) az. U/C (III); az. U (I)	1,4:1
11	1979	S/L	Trigo	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,3:1
12	1979	S/L	Trigo	Seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,2:1
13	1978	S/L	Trigo	Adecuado	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
14	1978	S/L	Lupino	Adecuado	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
15	1979	S/L	Trigo	Muy seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
16	1979	S/L	Trigo	Seco	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
17	1979	S/L	Trigo	Adecuado	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
18	1979	S/L	Trigo	Adecuado	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
19	1985	S/L	Cebada	Adecuado	(NR) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
20	1985	S/L	Cebada	Adecuado	(NR) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	S.D.
21	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(NR) inv. U/C (III) : p.p. U/C (I)	4,2:1
22	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(NR) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,7:1
23	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(NR) inv. T/C (I) : inv. T/C (IV)	1,6:1
24	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(NR) t.d. V/C (I) : inv. T/C (IV)	1,2:1
25	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	4,4:1
26	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	2,9:1
27	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	2,7:1
28	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	2,5:1
29	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,5:1
30	1985	S/L	Cebada	Muy húmedo	(R) inv. T/C (IV) : t.d. V/C (I)	1,4:1

^a Tipos de suelos: S/L = arcilla sedimentaria; FS/L = arcilla arenosa fina.

^b (R) = residuos en superficie.

(NR) = sin residuos; (I), (II), (III), (IV) = clases de cobertura en cada experimento. Tratamientos de siembra y cobertura: az. U = abresurco de azada, ranura en forma de U, sin cobertura; az. U/C = abresurco de azada, ranura en forma de U, con cobertura; inv. T = abresurco con alas, ranura en forma de T invertida, sin cobertura; inv. T/C = abresurco con alas, ranura en forma de T invertida, con cobertura; p.p. U = sembradora a golpes simulada, huecos en U, sin cobertura; p.p. U/C = sembradora a golpes simulada, huecos en U, con cobertura; p.t. U = abresurco movido por toma de fuerza, ranura en forma de U, sin cobertura; p.t. U/C = abresurco movido por toma de fuerza, ranura en forma de U, con cobertura; S. D. = sin diferencias; t.d. V = abresurco de triple disco, ranura en V vertical, sin cobertura; t.d. V/C = abresurco de triple disco, ranura en V vertical, con cobertura.

Nota: en todos los experimentos donde las ranuras fueron cubiertas, el material de cobertura fue el mejor disponible proporcionado por la acción del abresurco y la forma de la ranura.

Fuentes: Experimentos 1, 5, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17, y 18 (Choudhary, 1979). Experimentos 2, 3, 4 y 10 (Baker, 1976a). Experimento 6 (Baker, 1976b). Experimento 7 (Baker, 1971). Experimentos 13 y 14 (Mai, 1978). Experimentos 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 (Chaudhry, 1985).

con el único propósito de formar una cobertura.

6. Labranza: para aflojar la tierra detrás del abresurcos de modo que pueda ser fácilmente manipulada por uno de los métodos anteriores.
7. Doblado: del suelo y/o de los residuos para devolverlos a su lugar original, solamente con el objeto de cobertura.

A menudo dos o más métodos se combinan en un aparato o sistema para cobertura/presión simultánea.

Un observador casual podría no encontrar mayores diferencias entre los varios métodos descritos anteriormente. Sin embargo, una descripción de las ventajas y desventajas de cada principio podrá ilustrar la necesidad de la cobertura y, en menor medida, de la presión que son factores importantes para reducir los riesgos asociados con la labranza cero.

Compresión

Es el principio aplicado por muchos fabricantes de abresurcos verticales de doble disco (ver Capítulo 4). Por lo general, involucra la compresión con una rueda en forma de V a lo largo de la ranura después que esta ha sido formada y de tal modo que la masa de suelo es empujada hacia los lados sin que se afloje. El objetivo es comprimir la ranura cerrada moviendo el suelo hacia el lugar de origen. La Lámina 6 muestra las ruedas compresoras de un abresurcos de doble disco. Presenta las ventajas de que las ruedas son simples, requieren escasos ajustes y no están inclinadas, por lo que no bloquean los residuos.

Las desventajas son la necesidad de fuerza de empuje vertical casi similar a la fuerza necesaria para que el abresurcos abra las ranuras, lo que agrega requerimientos de peso a la sembradora; además, la acción de compresión compacta el suelo alrededor de la semilla, su capacidad para cerrar la ranura es altamente dependiente de la plasticidad y del contenido

de humedad del suelo y su efecto útil puede perderse rápidamente si el suelo se seca y encoge después de la compresión. Las ranuras hechas en suelos que no se comprimen pueden no ser adecuadamente cerradas si bien los suelos de este tipo presentan pocas oportunidades para otras soluciones. En los suelos en los cuales la ranura puede ser comprimida completamente hay un riesgo de un exceso de presión que puede encerrar las semillas por compactación, y limitar la emergencia de las plántulas.

Rodillos

El pasaje de rodillos en un campo después de la siembra a menudo es un intento de producir una acción compresora como la descrita anteriormente pero al azar, sin dirigir la acción a una zona específica. Funciona mejor cuando la formación de las ranuras da lugar a un considerable levantamiento del suelo como en el caso del abresurcos de azadas y algunos abresurcos simples en forma de T invertida. La fuerza vertical del rodillo tiende a apretar los surcos levantados del suelo, hacia abajo y en algunos casos hacia los lados. Dado que la mayoría de las partes levantadas del suelo están a lo largo de las ranuras, siempre hay un cierto grado de cobertura tal como ocurre con la compresión; sin embargo, el resultado final depende en gran parte del contenido de humedad y de la plasticidad del suelo.

Se usan rodillos lisos y con aros («Cambridge»). El problema de los rodillos con aros es que el centro de los aros aplica más presión que su parte externa. Si el centro del aro coincide con el centro del surco puede ayudar a enterrar las semillas demasiado profundamente o, al menos, puede sellar la zona de salida y restringir la emergencia de las plántulas. Por esta razón se prefieren los rodillos lisos a los rodillos «Cambridge».

Las principales ventajas de los rodillos radican en que son implementos generalmente disponibles y fáciles de usar y que su fuerza

hacia abajo deriva de su propio peso y no de la sembradora. También dejan el campo relativamente liso, lo cual puede ser favorable para la cosecha.

Las desventajas radican en que la cobertura debe ser hecha como una operación separada y que gran parte de la tierra suelta y los residuos no se mueven hacia la zona de la ranura sino que simplemente son enterrados, en cuyo caso no contribuyen en absoluto a la cobertura. Esta última desventaja se encuentra sobre todo con los abresurcos de azada y no con los abresurcos simples de T invertida, ya que éstos levantan una lámina de suelo en lugar de expandirla hacia los lados como los abresurcos de azada.

Presión

La presión consiste realmente en pasar un rodillo solo sobre una parte del terreno y tal vez en cierto ángulo o sobre la ranura. La ranura puede ser sometida a presión tanto después si ha sido cubierta por otro medio

(por ej., arrastre) como antes de la acción de cobertura. El objetivo de poner solo presión es efectuar la acción de cobertura; es particularmente útil en el caso de los abresurcos con dobles discos inclinados. La presión, junto con otros métodos de cobertura, mejora el contacto suelo-semilla, pero, sin embargo, hay escasa evidencia científica de que este procedimiento provoque un mejoramiento de la emergencia de las plántulas, pero ofrece una mejor consistencia de la profundidad de siembra (Choudhary, 1979; Choudhary y Baker, 1981a).

Por otro lado, se ha demostrado que la presión antes de la cobertura es sumamente útil con algunos abresurcos como el de azada y los de dobles discos verticales. Sin embargo, pocos fabricantes ofrecen aparatos para presión que actúen sobre la semilla antes de cubrir la ranura. La Lámina 35 muestra una rueda de presión en forma de V diseñada para presionar en la base de la ranura y al mismo tiempo pasar a los lados como un rodillo sobre el suelo sin disturbar. La Lámina 36 mues-

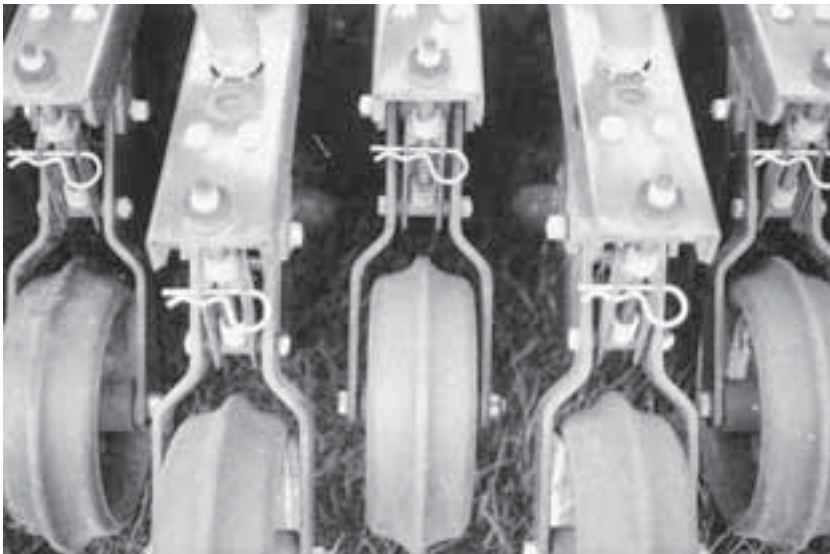


Lámina 35 Una rueda para presión con el centro en forma de V diseñada para presionar en la base de la ranura y al mismo tiempo sobre la superficie del suelo (Baker *et al.*, 1996).



Lámina 36 Un abresurcos de cincel con un aparato para comprimir, para afirmar las semillas en la base de la ranura al mismo tiempo que las cubre.

tra un aparato para comprimir diseñado para afirmar las semillas en la base de la ranura al mismo tiempo que las cubre.

La ventaja de la presión es que, por lo general, comprende una rueda (o un par de ruedas) que puede tener además la doble función de control de profundidad. Sin embargo, no es simple cumplir esta doble función si la rueda que presiona opera en la base de la ranura, ya que la rueda trabaja sobre una superficie del suelo que ya ha sido creada por el abresurcos; de este modo tiene poca referencia de las verdaderas características de la superficie del suelo. Por otro lado, la presión antes de la cobertura es más eficiente para contrastar las desventajas de las ranuras en U y verticales en V que cualquier otro método conocido (Choudhary, 1979; Choudhary y Baker, 1981a). El efecto parece ser la presión de las semillas sobre el suelo sin disturbar en la base de la ranura, de modo que las raíces emergentes no necesitan romper la pared de la ranura para tener acceso al agua del suelo.

Las desventajas son que la presión por sí sola no es siempre una acción de cobertura. Por lo general se hace después o antes de hacer la cobertura por otros medios, por lo que son ne-

cesarios dos mecanismos separados. Dado que la presión después de la cobertura es más simple de realizar y que las ruedas de presión son capaces de rodar sobre el suelo sin disturbar a lo largo de la ranura haciendo al mismo tiempo un control de profundidad, en muchos casos ha pasado a ser el método preferido. Sin embargo, desde el punto de vista biológico no produce tanta presión como el paso antes de la cobertura (ver también Capítulo 6).

Arrastre

El arrastre es probablemente la opción de cobertura más fácil y efectiva que puede ser hecha por otra máquina después de la siembra, sin considerar el tipo de abresurcos usado. Por lo general, es necesaria una rastra pesada, ancha y flexible que se pasa sobre el terreno preferiblemente en forma paralela a los surcos de siembra. La rastra arrastra el suelo por lo general suelto y otros residuos que han quedado al lado de las ranuras y empuja este material al acaso sobre las ranuras. Su acción depende de la tierra sin labrar entre los surcos que es capaz de sostener el peso de la máquina, de modo que esta no corte el suelo y, por lo tanto, acumule un exceso de suelo y residuos.

Se han usado varios tipos de rastras, desde rastras de cadenas con las puntas hacia arriba para evitar sacar las semillas de las ranuras, neumáticos de vehículos cortados longitudinalmente con la superficie cortada hacia abajo, redes tipo ostra, cadenas pesadas y trozos de rieles encadenados. La Lámina 37 muestra una rastra de barras hecha de un trozo de riel operando en un suelo friable después de la siembra con abresurcos de azada (Baker, 1970). La Figura 9 muestra un plano para una rastra de este tipo adecuada para un ancho de sembradora de 2,4 m.

Las ventajas de las rastras es que su operación es virtualmente a prueba de errores, son simples y económicas. En el caso de sur-



Lámina 37 Rastra simple de barras para cubrir ranuras de labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

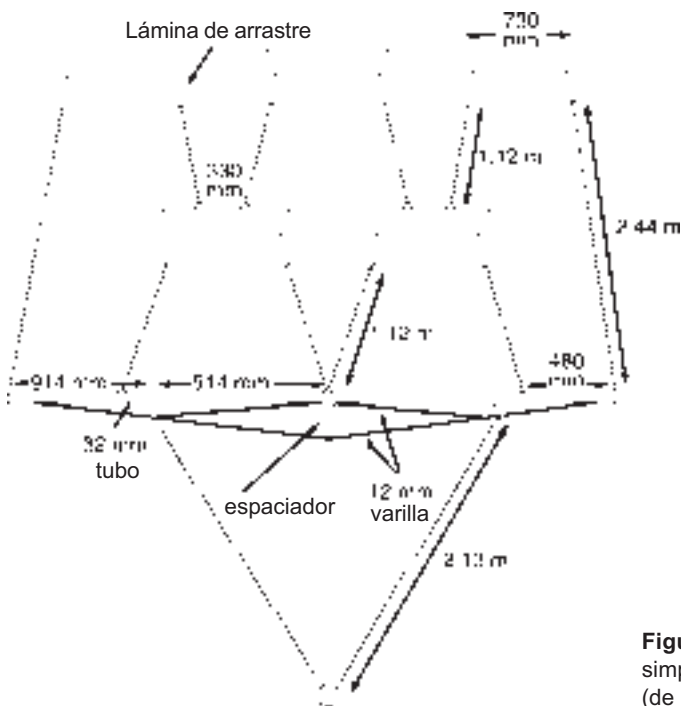


Figura 9 Plano para una rastra simple de barras para coberturas (de Baker, 1970).

cos hechos en suelos húmedos, el rastreo es preferible que se demore unas horas para permitir la formación de terrones secos que puedan ser arrastrados como material friable. En estos casos es ideal una rastra separada.

Las desventajas surgen cuando no se han formado terrones durante la siembra, por ejemplo con abresurcos verticales de doble disco en un suelo húmedo; en este caso las rastras no pueden hacer una cobertura efectiva. Su uso constituye otra operación, aunque si el tiempo de espera no es el apropiado, pueden engancharse detrás de la sembradora; y con muchos residuos pueden bloquearse.

Una variación del arrastre y los rodillos se obtiene con los rodillos en espiral, tal como se aprecia en la Lámina 38. Este equipo combina el efecto de la presión de un rodillo con el efecto de arrastre de una rastra gracias a la forma en espiral de los rodillos y a medida que estos giran. Son fáciles y convenientes de usar y no mueven tantos residuos y suelo como una rastra verdadera.

Deflectores

En algunos abresurcos de azada se colocan pequeños aparatos en la parte posterior del abresurcos para cortar una pequeña faja de tierra de la pared de la ranura y permitir que esta caiga sobre la semilla y/o el fertilizante. Uno de los objetivos de esta operación es obtener una cobertura de suelo sobre el depósito de fertilizante en la ranura antes que la semilla se deposite sobre el suelo; de ese modo ambos se separan verticalmente dentro de la ranura (Hyde *et al.*, 1987).

Lamentablemente, la función de cualquier aparato fijo, tal como un raspador interno de esta naturaleza, depende en gran medida de la posición del raspador en relación a las paredes de las ranuras. Dado que las paredes de las ranuras nunca están exactamente en la misma posición en dos suelos diferentes o incluso en el mismo suelo con diferentes contenidos de humedad o a distintas velocidades de trabajo, los raspadores deben ser ajustados manualmente



Lámina 38 Rodillo en espiral para cubrir ranuras de labranza cero.

para cada condición de suelo; de lo contrario la capacidad de funcionamiento del aparato será muy variable según las condiciones de trabajo. Mientras los deflectores verticales facilitan la separación de las semillas y el fertilizante en la ranura, los raspadores fijos a menudo recogen los residuos y causan bloqueos.

to el riesgo de compactación, especialmente en la zona de emergencia de las plántulas, es más reducido. La desventaja es que cualquier disturbio de esta naturaleza destruye la integridad de los residuos y de las capas de suelo y, en el mejor de los casos, coloca una mezcla al acaso de suelo y residuos como cobertura.

Labranza

En razón de la dificultad de mover el suelo que ha sido apretado hacia los lados en dirección opuesta, algunos abresurcos tratan de aflojar el suelo a lo largo de la ranura con la ayuda de ruedas con puntas o discos. A menudo, las ruedas con puntas están ordenadas a lo largo de ruedas compresoras anguladas de modo que acciones opuestas de apretado y aflojado se combinan en una sola operación como se aprecia en la Lámina 39.

Las ventajas de esta operación son que el suelo se mueve con más facilidad y al estar suel-

Doblado

El doblado del material sobre la ranura presupone que se ha formado una ranura horizontal de modo tal que esta primeramente levanta el material de cobertura original. Como una alternativa, la ranura puede haber sido creada de modo que el material original haya sido desplazado hacia los lados sin ser invertido ni mezclado, de modo que puede ser recuperado y recolocado como si no se hubiera movido de su posición original.

En realidad esto se aplica solamente a las ranuras horizontales en forma de T invertida



Lámina 39 Un par de discos con puntas combinados con ruedas compresoras anguladas para cubrir ranuras de labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

inclinadas de abresurcos de doble disco y tal vez con abresurcos de discos planos angulados con un ángulo de inclinación positivo. Aun en el caso de abresurcos de T invertida, el doblado es más una función de cómo se ha creado la ranura y no de la acción del aparato de cobertura. Por ejemplo, las láminas levantadas de la mayoría de las ranuras en T invertida, cuando son creadas en las pasturas, pueden ser dobladas con una rastra de arrastre o con ruedas compresoras. Las ruedas compresoras son más tolerantes a las condiciones variables de diferentes suelos y pasturas y son más confiables que las rastras de arrastre, pero deben ser anguladas para combinar las funciones de doblado y compresión.

En los suelos arables con residuos sueltos la función del doblado puede ser hecha en realidad solo por las ruedas compresoras. Sin embargo, es posible refinar suficientemente la función del doblado para permitir capas estratificadas de suelo; por ejemplo, una capa fina de polvo sobre suelo húmedo para ser reemplazada aproximadamente en el mismo orden encontrado antes del peso del abresurcos. Las Láminas 25 y 27 muestran un par de ruedas plegables que funcionan también como ruedas medidoras de la profundidad en una versión de discos del abresurcos con alas.

Las ventajas del doblado son que la función es predecible y confiable y que, por lo general, no requiere ajustes de los componentes del abresurcos para trabajar en diferentes condiciones de suelos o residuos. También puede producir una cobertura completa del suelo (Clase IV), siempre que haya abundantes materiales para ello.

Las desventajas son que un exceso de presión de las ruedas compresoras sobre una lámina de pastura húmeda puede cerrar la ranura tan herméticamente que pueda resultar difícil la emergencia de las plántulas. Como esta es función de las fuerzas de penetración aplicadas por los abresurcos, es fácilmente ajustada en el curso de la regulación normal de una sembradora para labranza cero.

Resumen de las funciones de la cobertura de las ranuras

1. Hay cuatro clases distinguibles de cobertura de las ranuras que varían desde sin cobertura (Clase I), suelo suelto (Clase II), suelo y una pequeña cantidad de residuos (Clase III) hasta una cobertura completa (mayor del 70 por ciento) de suelo y residuos (Clase IV).
2. En la Clase III, la pequeña cantidad de residuos de la cobertura puede ser intermitente (Clase IIIa) o una mezcla cuidadosa de suelo y residuos (Clase IIIb).
3. Las coberturas de Clase I a IV están clasificadas en orden ascendente de su capacidad para retener el vapor de agua de la ranura.
4. Los beneficios de la cobertura respecto a la emergencia de las plántulas están clasificados en orden ascendente de Clase I a IV.
5. Los principios de la cobertura de las ranuras y/u obtención del contacto suelo-semilla se obtienen por compresión, rodillos, presión, arrastre, deflectores, labranza o doblado del suelo y/o los residuos.
6. Algunos métodos de cobertura involucran operaciones y máquinas separadas usadas después de la siembra, en cuyo caso el clima y la plasticidad del suelo después de la siembra son importantes.
7. Otros métodos de cobertura comprenden las funciones simultáneas de los abresurcos por sí mismos, en cuyo caso la naturaleza y la velocidad de formación de las ranuras es importante.
8. Los abresurcos de discos verticales dobles y triples y las sembradoras a golpes por lo general producen coberturas de Clase I o II.
9. Los abresurcos de discos angulados dobles y triples son capaces de producir coberturas de Clase IV.

10. Los abresurcos de azada, de discos planos verticales y discos de plato vertical tienden a producir coberturas de Clase II o IIIa, dependiendo de la velocidad de trabajo.
11. Los abresurcos movidos por la toma de fuerza tienden a producir coberturas de Clase IIIb, sin tener en consideración la velocidad.
12. Los abresurcos de discos de plato angulados algunas veces producen coberturas de Clase IV a bajas velocidades.
13. Las versiones de disco de los abresurcos de ala son diseñadas para producir coberturas de Clase IV sin tener en consideración la velocidad, la humedad del suelo o las condiciones de los residuos.

6

Siembra en suelos secos

C. John Baker

Un suelo seco sin labrar tiene más potencial para la germinación de las semillas y permite que emerjan más plántulas que un suelo seco labrado; sin embargo, pocos abresurcos para labranza cero son capaces de aprovechar ese potencial.

La mayor parte de la agricultura del mundo implica cultivar en suelos que en algún momento del ciclo de crecimiento de los cultivos están muy secos. Si los agricultores pudieran predecir exactamente el momento en que el suelo se seca, podrían planificar sus trabajos de acuerdo a ello. En muchos climas, una idea aproximada del inicio de las lluvias permite que los agricultores hagan coincidir la siembra con el modelo esperado de lluvias. Sin embargo, estas coincidencias difícilmente son seguras y solo se aproximan en plazos de algunas semanas.

Cuando se siembra en un suelo sin labrar, unos pocos días pueden hacer la diferencia entre un cultivo exitoso o un fracaso. Muchos suelos sin labrar tienen el potencial para ser más tolerantes que los suelos labrados, pero el problema es que muchos agricultores no han aprendido aún como aprovechar esa tolerancia en su favor.

Cuando existe una escasa garantía de que lloverá en un día determinado después de la siembra es improbable que los agricultores intenten sembrar en un suelo seco. Por otro

lado, si un agricultor siembra en un suelo que tiene aparentemente la humedad adecuada pero la semana siguiente es dominada por vientos secos y cálidos, aquel que había sido un óptimo ambiente para las semillas se transforma en un lugar hostil para el cultivo.

De cualquier manera, mientras el peso de la maquinaria sea suficiente para la penetración de los abresurcos de la sembradora y haya suficiente energía para hacer funcionar la máquina en el suelo, es posible sembrar en el sistema de labranza cero en un suelo seco. Esto contrasta con los suelos mojados (ver Capítulo 7), donde la operación de las máquinas es a menudo simplemente imposible.

La pérdida de humedad en el suelo

Para comprender la tolerancia a la sequedad de los suelos sin labrar es necesario distinguir entre un suelo sin labrar con cobertura y un suelo sin labrar con la superficie desnuda. También es importante comparar la forma en que los suelos labrados y los suelos no labrados transportan el agua hacia la superficie para su evaporación.

Un suelo labrado perderá la humedad más rápidamente que un suelo sin labrar, al menos en las etapas iniciales. Pero dada la mayor porosidad de los suelos labrados, la pérdida de

humedad de las zonas superiores no será rápidamente repuesta desde las zonas más profundas: la ascensión capilar del agua es pobre a través de los grandes vacíos y poros que produce la labranza.

Por esta razón, en la parte superior de los suelos labrados se puede formar una capa seca. En algunos climas se provoca deliberadamente una capa de cobertura seca repitiendo la labranza de la capa superficial, hasta que se convierte en un polvo muy seco con humedad y conductividad térmica bajas. La razón que sustenta esa práctica es que en ausencia de cualquier otro tipo de cobertura superficial hay un ahorro neto de pérdida de humedad si se sacrifica una pequeña cantidad de agua para formar una «cobertura de polvo» con el objetivo de conservar una cantidad mayor de agua debajo de esa capa.

Por otro lado, un suelo sin labrar tendrá por lo general un sistema capilar bien desarrollado, desde la superficie hasta una cierta profundidad, lo cual actúa como una mecha absorbente continua que hace subir agua durante los períodos en que la superficie se seca. Este sistema de transporte interno, con el pasar del tiempo, se vuelve más eficiente al mejorar la estructura del suelo. La pérdida inicial de humedad es más lenta desde la superficie de un suelo desnudo sin labrar que desde un suelo labrado en razón de que la superficie es más suave y no crea turbulencia del aire o no permite que el aire entre tan fácilmente; por ello, gracias a la evaporación puede continuar abasteciendo agua a la superficie durante más tiempo que un suelo labrado con una cobertura de polvo. Aquí son importantes, por tanto, la materia orgánica de los residuos en cobertura y la acción de los abresurcos de las sembradoras en un suelo sin labrar.

La función de la fase de vapor del agua del suelo

Todos los suelos contienen agua en fase líquida y agua en fase de vapor como formas

de humedad. El equilibrio de la humedad relativa de los espacios de poros entre las partículas de suelo sin disturbar, a todos los niveles de humedad, va virtualmente desde 100 por ciento hasta el punto permanente de marchitez (Scotter, 1976). El punto permanente de marchitez es el punto en el cual el suelo es considerado demasiado seco para sostener la vida de las plantas. El estado del agua líquida del suelo a menudo se expresa como la tensión por la cual las películas de agua son retenidas por las partículas de suelo. En el punto permanente de marchitez la tensión equivale a 15 bar. El hecho importante es que las plantas se marchitan y mueren en el punto permanente de marchitez y no se recuperan aunque reciban agua nuevamente. Sin embargo, es importante recordar que, incluso a ese contenido de humedad, los macroporos contienen 99,8 por ciento de humedad relativa.

Al igual que el pelo sobre la piel de un animal, la cobertura orgánica encierra una capa de aire inmóvil cerca de la superficie del suelo que demora el intercambio de vapor de agua entre el suelo y la atmósfera. Más importante aún, la humedad dentro de la capa de esa cobertura permanecerá mucho más alta que la atmósfera debajo de la misma salvo, por supuesto, que llueva o que la atmósfera tenga un alto contenido de humedad.

Por ejemplo, si en un día seco y cálido se toma un medidor rápido de humedad y se coloca cuidadosamente debajo de una hoja grande sin moverla y sobre el suelo desnudo sin labrar, habrá un notable aumento de la humedad cuando el medidor se coloca debajo de la hoja y habrá una disminución notoria cuando se lo retira. Lo mismo podría ocurrir debajo de una lámina de plástico o de un papel. Esto demuestra que una zona localizada de alta humedad se encuentra debajo de la cobertura sobre la superficie del suelo. Esta zona de cobertura puede ser de un área muy reducida y no afectada por otra zona cercana sin cobertura y con una humedad mucho menor. Este es un fenómeno muy importante y constituye

una de las mayores diferencias entre los abresurcos para labranza cero.

Todos los agricultores del mundo pueden reconocer si un suelo labrado tiene o no suficiente agua en fase líquida para la germinación de las semillas. El juicio es hecho generalmente en base al color del suelo –un color oscuro significa más humedad– o la temperatura del suelo; con temperatura baja hay más humedad.

La humedad del suelo raramente es considerada en un suelo labrado, si bien no debería ser así. Excepto cuando la humedad del suelo es superior al 90 por ciento, la germinación puede ocurrir por medio de la absorción (imbibición) del agua de la fase líquida del suelo por parte de la semilla (Marin y Thraillkill, 1993; Wuest, 2002). La humedad en las capas superficiales de un suelo labrado es probable que se aproxime al 90 por ciento solamente en un día muy húmedo o inmediatamente después de una lluvia. Como se explicará más adelante, la humedad en la ranura sembrada de un suelo sin labrar es aún más importante que en la matriz general del suelo (Choudhary, 1979; Choudhary y Baker, 1981a, b).

El Cuadro 5 ilustra lo que ocurre generalmente cuando las semillas son sembradas en suelos sin labrar con abresurcos con doubles discos verticales (ranura en forma de V, cobertura Clase I); abresurcos de azada (ranura en U, cobertura Clase II o III); y abresurcos de ala (ranura en T invertida, cobertura Clase IV). Las siguientes explicaciones hacen referencia a la línea correspondiente en el Cuadro 5.

Germinación

La germinación de las semillas puede ocurrir mediante absorción de agua de la fase líquida o de la fase de vapor (humedad) o de ambas. Para que ocurra la absorción en la fase líquida las semillas deben tener contacto físico con el suelo que contiene el agua por medio de un contacto suelo-semillas adecuado.

Cuando la semilla es colocada en la base de una ranura en V (vertical o inclinada) en un suelo seco, la transferencia de agua del suelo a la semilla es generalmente adecuada, aun cuando las zonas de contacto con cada pared de la ranura pueden ser relativamente limitadas (Figura 10). Las paredes de la ranura, suaves y por lo general compactas, son una fuente rápida de agua en fase líquida, que por otro lado es escasa en el suelo. De este modo, la germinación dentro de una ranura en V en un suelo seco (cobertura Clase I) puede ser considerada «buena».

En las ranuras en forma de U hay por lo general más suelo suelto dentro de la ranura y también tienen una base más amplia sobre la cual yace la semilla (Figura 11); estos dos factores causan una pobre transferencia de humedad de la escasa agua de la fase líquida a la semilla. Aun cuando una cobertura liviana de suelo cubre la ranura y la semilla, dada su naturaleza suelta del medio de cobertura, hay poca humedad en la fase líquida en el suelo que permanece seco y que actúa en una forma

Respuesta	Triple (doble) Disco	Azada	Abresurco con ala
Abresurcos	V	U	T
Germinación	Buena	Mala	Buena
Sobrevivencia sub-superficial de la plántula	Muy pobre	Buena	Muy buena
Emergen. de la plántula	Buena/muy mala	Buena/mala	Excelente
Pérdida de humedad de la ranura	Alta	Media	Baja
Cobertura de la semilla	Buena/mala	Muy buena	Buena
Presión sobre la cobert.	Mala	Mala	Mala
Presión sobre la semilla antes de cubrirla	Buena	Muy buena	Mala

Cuadro 5 Resumen de las respuestas de las formas de ranuras de labranza cero a las condiciones secas del suelo.

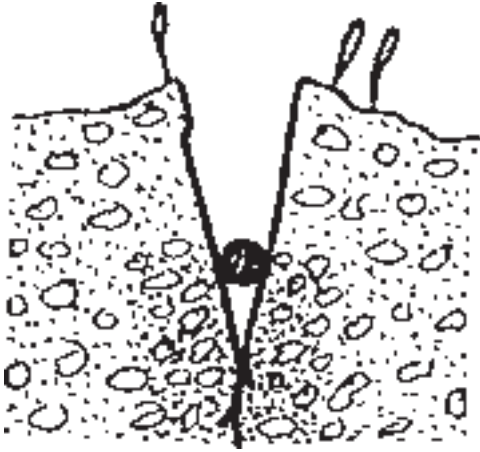


Figura 10 Posición que toma la semilla en una ranura vertical en forma de V en labranza cero.

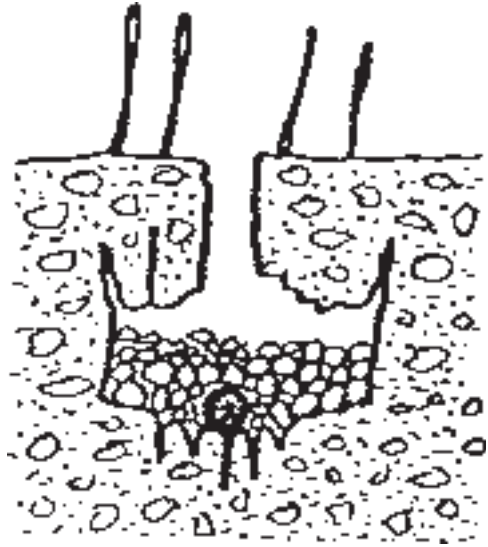


Figura 12 Posición de la semilla en una ranura en forma de T invertida.

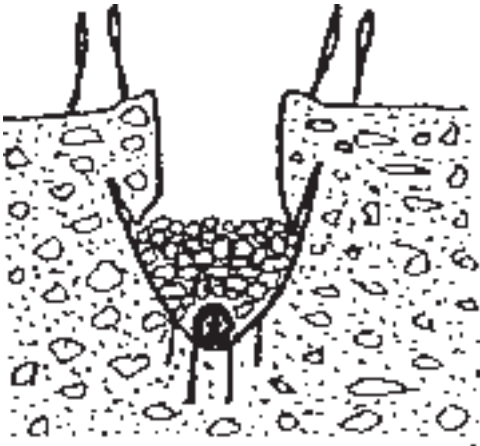


Figura 11 Posición que toma la semilla en una ranura en forma de U en labranza cero.

similar a la cobertura de polvo, como se describió anteriormente. Por esta razón, la germinación en una ranura en U es a menudo «pobre».

Con las ranuras en forma de T invertida, el abastecimiento de la fase líquida de agua es apenas diferente de las ranuras en forma de U (Figura 12). Sin embargo, la cobertura de Clase IV da lugar a que la semilla sea rodeada

por agua en la fase de vapor con un 90-100 por ciento de humedad (ver Capítulo 4). Las semillas necesitan algún tiempo más para germinar que cuando hay agua disponible en la fase líquida, pero también resulta en una alta germinación. Por esta razón, la germinación en las ranuras en T invertida en un suelo seco (cobertura IV) es generalmente «buena».

Sobrevivencia superficial

Uno de los aspectos más descuidados y menos considerados de las etapas del desarrollo de las plántulas en la labranza cero es el tiempo que transcurre entre la germinación y el momento en que esas plantas juveniles emergen del suelo. Todo este período se cumple debajo del suelo. Las plántulas, para permanecer vivas, obtienen los nutrientes de sus reservas y de la humedad por medio de las raíces embrionarias que aparecen en el momento de la germinación.

Las plantas antes de la emergencia no son capaces de fotosintetizar alimentos y energía

a partir de los rayos solares. Tienen solo una necesidad limitada de extraer agua del suelo seco porque en ese momento están bajo la superficie del suelo ya que es fundamentalmente la acción solar la que estimula la transpiración de las plantas. Sin embargo, las plántulas subsuperficiales respiran consumiendo humedad; puede haber una pérdida de agua subsuperficial donde la humedad del suelo y, por lo tanto, la presión de vapor, es menor que la correspondiente presión de vapor dentro de las plantas embrionarias. Esto da como resultado una pérdida de difusión a través de las células de las plantas.

Además de la respiración, el resultado final es una tendencia de las plántulas subsuperficiales a desecarse, excepto cuando tienen disponible una fuente de agua del suelo. Dentro de las ranuras verticales en V (cobertura Clase I) muchas de las nuevas plántulas se desecan y mueren. A menudo llegan a la luz del sol muy pronto después de la germinación a causa de la ausencia de material de cobertura sobre la ranura. Pero también pueden morir aun bajo cobertura de Clase II (suelo suelto). Frecuentemente, la razón es que las raíces embrionarias tienen que penetrar las paredes compactas antes de poder acceder a la fase de agua líquida en el suelo que las rodea.

Desde el momento que las paredes de las ranuras son casi verticales y hay poca resistencia sobre la cual puedan desarrollar las fuerzas de penetración, aparte del peso de la semilla, las raíces tienen dificultades para penetrar en las ranuras; en ese caso se difunden hacia los lados dentro de la ranura. Como resultado, las plántulas después de la germinación reciben un escaso aporte de agua. Las plántulas no pueden soportar una fuerte desecación cuando requieren humedad del suelo, que en el caso de las ranuras en forma de V es del 60 al 80 por ciento. Por lo tanto, muchas plántulas subsuperficiales mueren antes de la emergencia en estas ranuras en suelos secos.

Es útil confrontar esta situación con un suelo completamente labrado. En este las semi-

llas son colocadas en un medio suelto y friable. Este medio no transporta suficiente agua en la fase líquida para que la semilla germine; pero, aun para aquellas semillas que germinan, no hay paredes de ranuras para penetrar. Por esta razón, son raras las plántulas subsuperficiales muertas en los suelos labrados, similar a lo que ocurre en las ranuras en forma de U en labranza cero.

Con las ranuras en forma de U (cobertura Clase II o III), si bien en general la germinación es pobre, las raíces de las plántulas que germinan tienen menos dificultades para perforar las bases sin compactar y que son más anchas de las ranuras. Si las ranuras pueden ser cubiertas a nivel de la Clase II o III, por lo menos con suelo suelto o una mezcla de suelo y residuos, la posibilidad de desecación de las plántulas subsuperficiales es reducida. Es probable que la humedad permanezca en el rango del 70 al 90 por ciento. El resultado en las ranuras en forma de U en un suelo seco es que sobrevive un porcentaje razonable de las plántulas subsuperficiales aunque puede haber muchas que no germinan hasta la llegada de las lluvias (o incluso de rocío). Esto significa que la emergencia de las plántulas puede estar espaciada en un largo período.

Las Láminas 40 y 41 muestran cuatro plantas de trigo arrancadas de parcelas de labranza cero en un suelo seco, en Australia. En la Lámina 40 las plantas están orientadas en la dirección del alambrado (cruzando la visión del campo). Las dos plantas en la izquierda fueron sembradas con un abresurcos de doble disco vertical (ranura en forma de V) y las dos plantas en la derecha fueron sembradas con un abresurcos de tipo azada, ancho, (ranura en forma de U). El desarrollo de las raíces a lo largo de los surcos es casi igual para las cuatro plantas (o sea para ambos tipos de ranuras).

En la Lámina 41 las cuatro plantas han sido rotadas 90° y están orientadas según los surcos de las sembradoras que corren hacia la cámara fotográfica. Claramente, las raíces de



Lámina 40 Plantas de trigo de un cultivo en labranza cero en Nueva Gales del Sur, Australia. La dirección de la ranura es paralela al alambrado (de Baker *et al.*, 1996).



Lámina 41 Plantas de trigo de un cultivo en labranza cero en Nueva Gales del Sur, Australia. La dirección de la ranura es hacia la cámara fotográfica (de Baker *et al.*, 1996).

las plantas en la izquierda (ranura en forma de V, vertical) casi no se han movido hacia los lados de la ranura pero han quedado den-

tro de las paredes de la ranura. Por otro lado, las raíces de las plantas en la derecha (ranuras en forma de U, anchas) se han desplazado

tanto en sentido longitudinal como lateral (Lámina 40). Esto muestra la dificultad que tienen las raíces jóvenes (y, en este caso, también las maduras) para penetrar las paredes de algunas ranuras verticales en forma de V, comparadas con las ranuras en forma de U.

Con las ranuras en forma de T invertida (cobertura de Clase IV), la humedad por lo general permanece en el rango del 90 al 100 por ciento a causa de la ranura cubierta con residuos. Esto da como resultado una alta germinación (aunque a veces lenta) pero su función más importante es que elimina la mayor parte del estrés de la desecación o transpiración de las plántulas subsuperficiales y así su tasa de sobrevivencia es alta.

La exploración fuera de la zona de la ranura por parte de las raíces embrionarias no es más limitada en las ranuras en forma de T invertida que en las ranuras en forma de U. El resultado combinado es que con las ranuras en forma de T invertida en un suelo seco, la mayoría de las plántulas subsuperficiales sobreviven con una rápida y consistente emergencia.

La Figura 13 ilustra la tasa relativa de pérdida de humedad de las tres formas diferentes de ranuras (Choudhary y Baker, 1994).

Los investigadores en Nueva Zelanda trataron de cubrir ranuras verticales en forma de V, con fajas de plástico para capturar artificialmente el vapor de agua en las ranuras abiertas y crear una cobertura de Clase IV (Choudhary, 1979). La humedad aumentó dentro de las ranuras pero también fue importante el crecimiento de hongos, lo que indica probablemente que se había reducido la circulación del aire. Por lo tanto, la naturaleza tiene el medio de cobertura perfecto bajo forma de residuos orgánicos: estos residuos respiran y capturan humedad. El plástico no respira, si bien captura humedad y es un trabajo poco práctico cubrir las ranuras con fajas de plástico.

En la naturaleza la situación es tal que las semillas son normalmente cubiertas con residuos.

Emergencia de las plántulas

Cuantas más veces aparezcan conceptos negativos («muy pobre», «mala», «muy mala», «baja») para un tipo de ranura en el Cuadro 5, menos efectiva será la ranura para promover la emergencia de la plántula en un

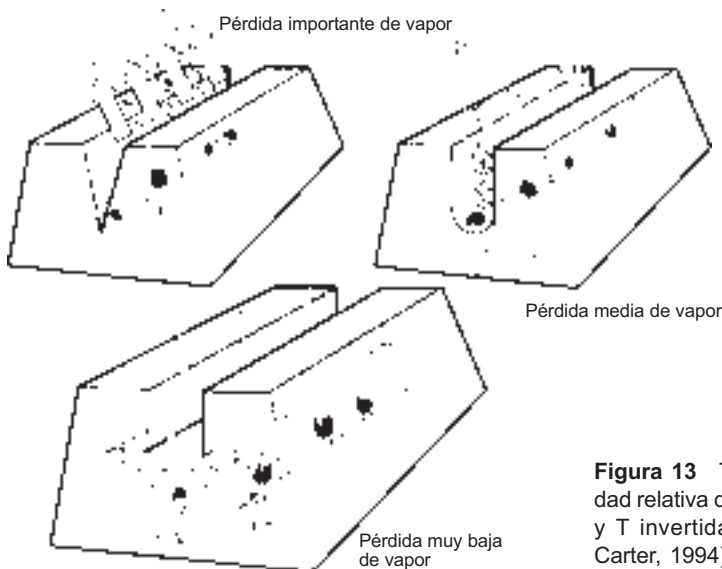


Figura 13 Tasa de pérdida de humedad relativa del suelo en ranuras en V, U y T invertida para labranza cero (de Carter, 1994).

suelo seco. Viceversa, cuantas más veces aparezcan conceptos positivos («buena», «muy buena») mejor será la ranura.

En resumen, el orden de clasificación con respecto a los suelos secos es:

1. Ranuras en forma de T invertida, cobertura Clase IV: excelente germinación, excelente sobrevivencia y, por lo tanto, excelente emergencia.
2. Ranuras en forma de U, cobertura Clases II o III: germinación pobre, sobrevivencia adecuada y emergencia por debajo de los estándares.
3. Ranuras verticales en forma de V, cobertura Clase I o II: excelente germinación, sobrevivencia pobre y, por lo tanto, emergencia pobre.

El Cuadro 6 (Choudhary, 1979) lista modelos típicos de las respuestas de semillas de trigo (*Triticum aestivum*) a tres formas de ranuras en suelos secos. Estos resultados ilustran los distintos mecanismos de las fallas de las ranuras verticales en V y de las ranuras en U, o sea, mortalidad subsuperficial de las plántulas y fracaso de la germinación, respectivamente.

En las ranuras verticales en forma de V la emergencia de las plántulas fue pobre (27 por ciento) si bien la germinación había sido razonablemente buena. Solo el 9 por ciento de

las semillas no germinaron, al igual que en la ranura en forma de T invertida. Opuesto a ello, un alto porcentaje (64 por ciento) de las plántulas germinadas permanecieron debajo del suelo en las ranuras verticales en forma de V y muchas de ellas murieron.

En las ranuras en forma de U, si bien emergió un porcentaje mayor (51 por ciento) que en las ranuras en forma de V, 23 por ciento de las semillas no germinaron lo que muestra el mayor valor de este elemento. Sólo el 26 por ciento de las plántulas permanecieron sin emerger debajo del suelo, similar a las ranuras en forma de T invertida (27 por ciento).

El carácter más distintivo de las ranuras en forma de T invertida fue que el 64 por ciento de las semillas germinaron y emergieron. Además, el 27 por ciento germinaron y permanecieron vivas debajo de la tierra esperando la lluvia. Sólo el 9 por ciento no germinó.

La Figura 14 muestra modelos típicos de emergencia de plántulas de trigo en labranza cero en un suelo seco bajo condiciones controladas de sequía (Baker, 1976b). Claramente, las semillas sembradas en las ranuras en forma de T invertida emergieron en mayor cantidad (78 por ciento) que en las ranuras en forma de U (28 por ciento) o ranuras verticales en forma de V (26 por ciento). En las ranuras en forma de T invertida hubo unos pocos días de demora antes de que se iniciara la germinación, po-

Cuadro 6 Respuestas de las semillas y de las plántulas de trigo a abresurcos para labranza cero y formas de las ranuras en un suelo seco.

	Abresurco de disco doble		Abresurco de ala
	Ranura vertical en forma de V Cobertura Clase I (%)	Abresurco de azada Ranura en forma de U Cobertura Clase II (%)	Ranura en forma de T invertida Cobertura Clase IV (%)
Emergencia de las plántulas	27	51	64
Semillas germinadas que no emergen	64	26	27
Semillas no germinadas	9	23	9
Total semillas	100	100	100

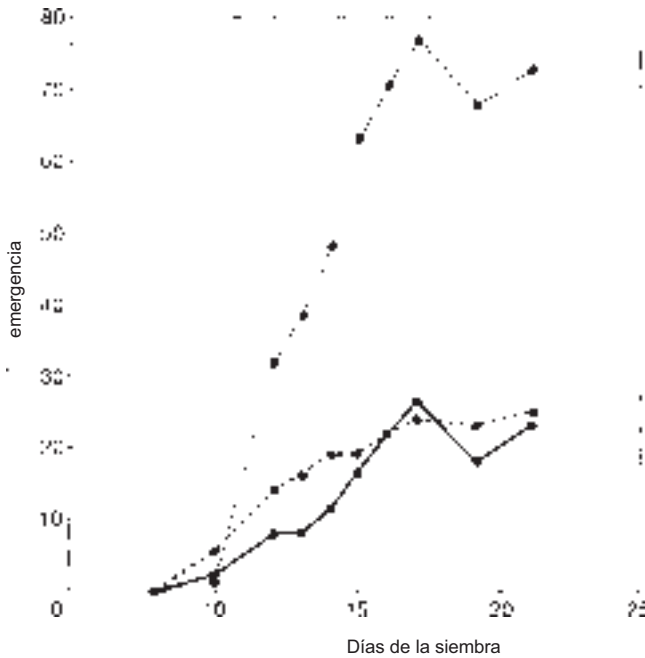


Figura 14 Emergencia de las plántulas de trigo en ranuras en forma de V (—), en forma de U (- - -) y en forma de T invertida (.....) para labranza cero en un suelo seco (Baker, 1976b).

siblemente porque las semillas estaban absorbiendo agua de la fase de vapor y no de la fase líquida como ocurría en las otras dos ranuras;

sin embargo, de aquí en adelante la tasa de emergencia fue muy rápida comparada con las otras dos formas.

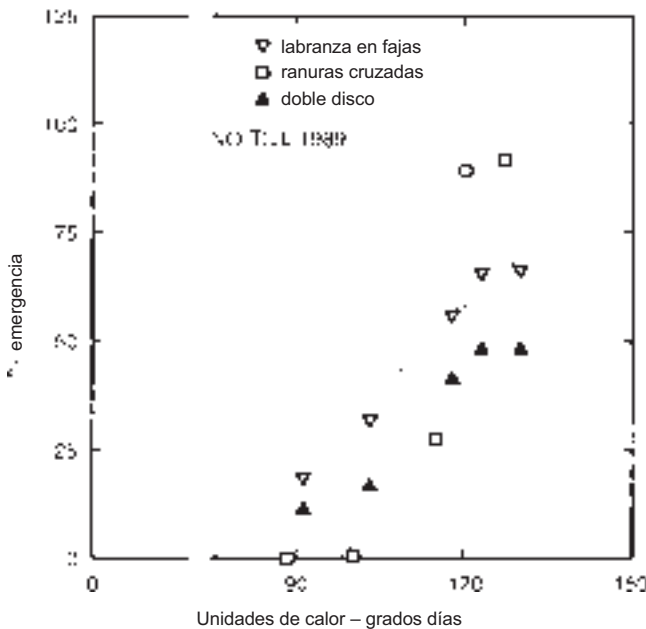


Figura 15 Modelos de emergencia de plántulas de arveja en ranuras en forma de V, en forma de U y en forma de T invertida para labranza cero en un suelo seco (Wilkins *et al.*, 1992).

Este fenómeno también está ilustrado en la Figura 15 que muestra los modelos de emergencia de las plántulas de arveja en un suelo seco en Oregon, Estados Unidos de América (Wilkins *et al.*, 1992). Las ranuras usadas en V, en U y en forma de T invertida fueron representadas por «doble disco», «labranza en fajas» y «ranuras cruzadas», respectivamente.

La emergencia en las ranuras en U se distribuyó en un período de dos o tres días y alcanzó un máximo de 65 por ciento, un 5 por ciento mejor que las ranuras en forma de V, las cuales distribuyeron la emergencia en el mismo tiempo. Las plántulas en las ranuras en forma de T invertida comenzaron a emerger solo uno o dos días después de las otras dos ranuras pero casi todas las plantas nacieron en un solo día y llegaron a un 90 por ciento de emergencia. La uniformidad y consistencia de la emergencia mostrada por las ranuras en forma de T invertida tiene consecuencias importantes para la eventual madurez del cultivo y su rendimiento; por supuesto que un 90 por ciento de emergencia contribuye a mayores rendimientos que un 50-65 por ciento de emergencia.

Otro experimento llevado a cabo por Choudhary (1979), presentado en el Cuadro 7, muestra la efectividad de las tres formas de ranuras en un suelo seco comparadas con el mismo

suelo cuando fue mojado. El efecto más marcado fue que tanto las ranuras verticales en V como en U respondieron positivamente cuando mejoró el contenido de humedad. La emergencia de las plántulas se multiplicó por cuatro y por dos, respectivamente. En las ranuras en forma de T invertida el incremento fue de solamente un 9 por ciento ya que el recuento en el suelo seco fue inicialmente alto.

Como en el Cuadro 6, las ranuras verticales en forma de V presentaron un recuento alto (72 por ciento) de plántulas no emergidas en el suelo seco y que decreció ligeramente al 58 por ciento en condiciones húmedas, lo que indica que muchas plántulas habían muerto ya. Las ranuras en forma de U tuvieron un recuento relativamente alto de semillas no germinadas (47 por ciento) en el suelo seco, lo que posteriormente se eliminó (0 por ciento) cuando aumentó el nivel de humedad del suelo, lo que indica que todas las semillas no germinadas habían permanecido viables. Esto muestra una vez más que las causas de fracaso en un suelo seco para las ranuras verticales en V y en U son bastante diferentes entre sí. En el caso de las ranuras en V vertical es el fracaso de las plántulas para sobrevivir debajo del suelo mientras que en las ranuras en forma de U es en primer lugar la incapacidad de germi-

Cuadro 7 Respuestas de las semillas y las plántulas de trigo a los abresurcos para labranza cero en un suelo seco y en un suelo con humedad adecuada.

	Abresurco de doble disco		Abresurco de azada		Abresurco de ala	
	Ranura vertical en V		Ranura en forma de U		Ranura en forma de T invertida	
	Cobertura Clase I (%)		Cobertura Clase II (%)		Cobertura Clase IV (%)	
	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco	Húmedo	Seco
Emergencia de plántulas	42	10	70	31	68	59
Semillas germinadas incapaces de emerger	58	72	30	22	32	23
Semillas sin germinar	0	18	0	47	0	18
Total semillas	100	100	100	100	100	100

nar. En el caso de las ranuras en forma de T invertida, la mayoría de las semillas germinó, incluso en el suelo seco, y también casi el mismo número de semillas que para la ranura en U permanecieron sin germinar debajo del suelo.

Surge la pregunta de qué les sucede a las plántulas subsuperficiales que no emergen de un suelo seco en condiciones de campo. El desarrollo de esas plántulas depende de dos cosas: i) cuán rápidamente llueve después de la siembra y, ii) cuán efectivamente la ranura mantiene las plántulas subsuperficiales en estado viable mientras se espera la llegada de la lluvia. La alta humedad de las ranuras en forma de T invertida mantendrá las plántulas en estado viable durante un período más largo que las ranuras en forma de U, las que a su vez son mejores que las ranuras en forma de V. En el laboratorio, las plántulas de trigo germinadas permanecieron viables durante tres semanas debajo de un suelo seco con una cobertura clase IV. Sin embargo, en el campo, en un suelo muy liviano de origen de cenizas volcánicas, las plántulas de raigrás (*Lolium perenne*) sobrevivieron debajo de la superficie de cobertura Clase IV en ranuras en forma de T invertida por un período de ocho semanas hasta la llegada de las lluvias; en ese momento emergieron, aparentemente normales, a pesar del tiempo transcurrido bajo tierra (S. J. Barr, 1990, datos sin publicar).

Siempre que la lluvia ocurra antes de que las plántulas subsuperficiales hayan muerto a causa de la desecación, podría ser posible obtener una respuesta positiva al riego después de la siembra, tanto en ranuras verticales en V como en ranuras en forma de U. Regando 22 días después de la siembra en un suelo seco bajo labranza cero, Baker (1976a) obtuvo un incremento del 21 al 75 por ciento en la emergencia con ranuras en forma de V y del 38 al 92 por ciento con ranuras en forma de U. Con las ranuras en forma de T invertida el incremento fue más modesto, del 78 al 86 por ciento, pero aquí también la emergencia inicial de las plántulas había sido alta cuando el suelo estaba seco antes del riego.

Efectos de la presión

Una de las prácticas más comunes en la preparación de camas para la siembra por medio de la labranza es ejercer presión sobre los surcos después de haberlos cubierto. Esta práctica busca mejorar el contacto suelo-semilla y atraer agua a la semilla por medio de la capilaridad. Sin duda, esta práctica mejora el contacto suelo-semilla pero su función de atraer agua es dudosa. Cross (1959) demostró que en un suelo seco la consolidación debajo de la semilla fue más importante que la consolidación encima de esta; de cualquier manera, siempre hubo dudas acerca los beneficios reales de la presión sobre los suelos labrados.

Aparentemente, la presión después de la cobertura en un suelo sin labrar es aún menos beneficiosa. Choudhary (1979) y Choudhary y Baker (1981b) condujeron experimentos que comparaban la presión sobre el suelo después de colocar la cobertura y la presión sobre las semillas antes de la cobertura. No encontraron ninguna ventaja para el tratamiento de presión sobre las ranuras cubiertas en un suelo seco. Más importante aún, encontraron ventajas substanciales de la presión sobre las semillas en la ranura antes de colocar la cobertura, pero solo en las formas verticales de ranuras en V y en U. En el caso de las ranuras en forma de T invertida, la emergencia de las plántulas fue inicialmente alta en el tratamiento sin presión, por lo que hubo relativamente un escaso mejoramiento con respecto a cualquier otro tratamiento.

En las ranuras en forma de U, presionando las semillas hacia la base de la ranura, se asegura que las semillas tengan buen contacto con el suelo que contiene agua. Dado que el vapor de agua retenido en las ranuras en U es insuficiente para que las semillas germinen y el contacto suelo-semilla es en general pobre para permitir la absorción del agua líquida, el hecho de empujar las semillas en el suelo sin disturbar asegura que al menos el agua líquida está disponible para ser absorbida, casi en

la misma forma que en el caso de las ranuras en V ilustrada en la Figura 17.

En las ranuras verticales en forma de V, la presión de las semillas hacia la base de la ranura tiene un efecto diferente. La introducción de las semillas directamente en el suelo indisturbado asegura que la radícula emerja directamente en el suelo, a partir de la cual ésta deriva la función fundamental de absorción de agua (Figura 17) y de esa manera supera el período de estrés que sufren cuando deben penetrar en las paredes de las ranuras. La presión sobre las semillas antes de la cobertura en las ranuras en U y verticales en V tiene una acción positiva importante para mejorar la emergencia de las plántulas en un suelo seco.

Experiencias de campo

Un experimento de campo llevado a cabo en Nueva Zelanda intentó sembrar con tres abresurcos diferentes para labranza cero el segundo lunes de cada uno de los seis meses de verano, sin considerar las condiciones del suelo o climáticas, de modo que se estimará con cuánta frecuencia ocurrían las condicio-

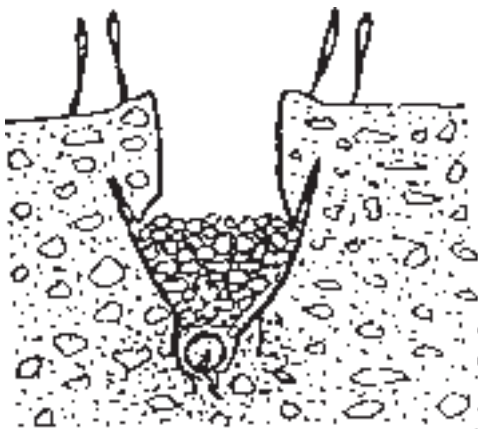


Figura 16 Posición de las semillas después de la presión en la base de una ranura en U para labranza cero.

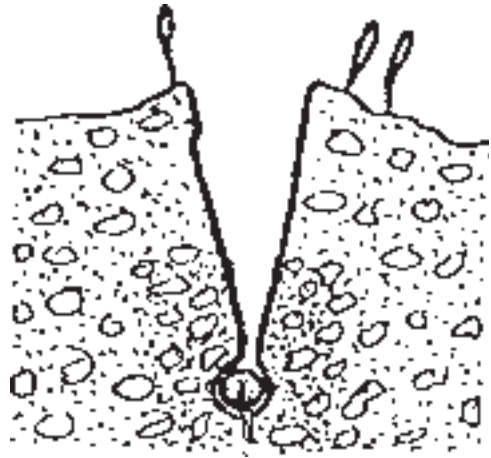


Figura 17 Posición de las semillas después de la presión en la base de una ranura en V para labranza cero.

nes limitantes en esa región (Choudhary y Baker, 1982). Por casualidad, en una ocasión el nivel de humedad del suelo era cercano al punto permanente de marchitez. En este caso, las ranuras en forma de T invertida obtuvieron un 50 por ciento de emergencia del trigo mientras que las ranuras en U y en V en el mismo suelo no tuvieron prácticamente emergencia. También es dudoso que una semilla hubiera germinado en un suelo labrado en, o cerca, del punto permanente de marchitez.

Es por esta razón que, en Nueva Zelanda, repetidas encuestas de operadores de sembradoras con abresurcos en forma de T invertida que cubren cerca de 40 000 hectáreas por año, tanto en las siembras de primavera como de otoño (Baker y col., 2001), revelaron un éxito del 99 por ciento para este proceso de siembra y tecnología.

Resumen de siembra en suelos secos

1. La clasificación descendente del comportamiento biológico de las formas de las

- ranuras en los suelos secos es: en T invertida, seguida por U y ranuras verticales en V.
2. Los valores descendentes de efectividad en los suelos secos es Clase IV a Clase I.
 3. Las ranuras en forma de T invertida capturan más vapor dentro de la ranura, lo cual favorece la germinación de las semillas y el crecimiento y desarrollo de las plántulas bajo tierra.
 4. La mayor causa de fracaso en las ranuras verticales en V es la desecación subsuperficial de las plántulas y no el fracaso de la germinación.
 5. La causa predominante de los fracasos en las ranuras en U es la falla en la germinación.
 6. La presión sobre el suelo después de la cobertura de la semilla tiene un efecto insignificante en cualquier tipo de ranura.
 7. La presión sobre las semillas en las ranuras en V y en U antes de la cobertura mejora notablemente sus resultados.
 8. Los residuos sobre la superficie son un recurso importante para promover la emergencia de las plántulas en un suelo seco, siempre que los abresurcos los utilicen correctamente para capturar humedad. Las ranuras de los abresurcos en T invertida e inclinados en V (pero no los verticales en V) son más efectivos.
 9. Es posible obtener una mejor emergencia de plántulas en un suelo seco usando la labranza cero que con labranza convencional siempre que se usen la técnica y los equipos adecuados.
 10. Con las ranuras en forma de T invertida es posible obtener una emergencia de plántulas de suelos en labranza cero que son demasiado secos para sostener un crecimiento efectivo del cultivo.

7

Siembra en suelos húmedos

C. John Baker

La clasificación biológica de los abresurcos para labranza cero para los suelos húmedos es casi idéntica a la de los suelos secos, pero por diferentes razones.

A diferencia de los suelos secos, por lo general es imposible sembrar físicamente en los suelos muy húmedos en razón del comportamiento de las sembradoras, de la fuerza de tracción limitada o de la excesiva compactación. Por lo tanto, considerando los problemas de los suelos húmedos, es importante distinguir dos situaciones diferentes:

1. Siembra en suelos lo suficientemente húmedos, naturalmente pegajosos y/o plásticos en los que aún sea posible sembrar.
2. Siembra en suelos que no están excesivamente húmedos pero que se vuelven muy húmedos enseguida después de la siembra.

Siembra en suelos húmedos

Los problemas más importantes para sembrar en suelos húmedos sin atascarse (situación 1 arriba), desde un punto de vista operativo, están relacionados con la capacidad física de los abresurcos. En este aspecto hay pocos principios para distinguir un abresurco de otro. En general, todos los abresurcos con componentes rotatorios tienen limitaciones en los suelos húmedos, especialmente en suelos húmedos que además son pegajosos. El uso de raspadores

subsuperficiales en algunos abresurcos de discos extiende su tolerancia a otros suelos.

Cuando un abresurco emplea ruedas de presión del tipo semineumático («presión cero»), el límite operativo de todo el abresurco en suelos húmedos y/o pegajosos es el límite en el cual esas ruedas pueden continuar trabajando sin atascarse. Las ruedas semineumáticas son particularmente aptas para dejar caer el barro (ver Capítulo 10) por lo que no es lógico esperar que un abresurco trabaje en un suelo mejor que sus ruedas.

Aparte de la capacidad de los distintos abresurcos para operar sin atascarse, hay importantes efectos biológicos que ocurren como resultado de la acción física de los distintos abresurcos en los suelos húmedos. Los factores biológicos más importantes son la compactación, el alisado y el encostrado creados por los distintos abresurcos. El alisado es una compactación muy localizada dentro de la ranura (tal vez de un espesor de 1-2 mm) y el encostrado es por lo general un alisado que se ha secado y endurecido.

Dixon (1972) ilustró el efecto de los abresurcos verticales de doble disco (ranura en V), de los abresurcos simples de azada (ranura en U) y de los abresurcos de ala simple (ranura en T invertida) a diferentes contenidos de humedad del suelo, uno de los cuales fue bastante húmedo (27 por ciento) (Figura 6). Otros autores estudiaron las tendencias de los distintos

abresurcos para compactar la base y las paredes de la ranura (Dixon, 1972; Baker y Mai, 1982b; Mitchell, 1983). A partir de estos estudios y de numerosas observaciones en el campo, se resumen a continuación las tendencias de los distintos abresurcos a la compactación, al alisado y al encostramiento.

Abresurcos verticales de discos dobles (o triples) – ranuras en forma de V

Estos abresurcos tienen la mayor tendencia a la compactación de todos los abresurcos para labranza cero. La compactación ocurre tanto en la base como en las paredes de la ranura. También tienen una fuerte tendencia al alisado, acentuado en el caso de la ranura abierta. Dado que el alisado queda expuesto a la atmósfera, a menudo se seca después del pasaje del abresurco y forma costras internas que restringen la penetración de las raíces.

En los suelos húmedos pegajosos el suelo se adhiere a la parte exterior de los discos con lo cual levanta suelo y semillas de dentro de las ranuras y las deposita fuera de las mismas; de esta forma se anula el trabajo de la verdadera forma en V de la ranuras. La Lámina 5 muestra una ranura hecha por un abresurco de disco doble vertical en un suelo australiano pegajoso. La ranura ha sido severamente interrumpida por el suelo que se adhiere al disco.

Los abresurcos de discos verticales dobles o triples tienen una fuerte tendencia a introducir los residuos en la ranura, como se describe en detalle más adelante. La cobertura de la ranura es típicamente Clase I.

Abresurcos dobles (o triples) inclinados – ranuras inclinadas en forma de V

Es probable que este tipo de abresurcos compacte menos la zona de las semillas, pero solo cuando el abresurco es precedido por otro

abresurco fertilizador de doble o triple disco inclinado en la dirección opuesta. A causa de la inclinación, la parte superior de la pared de la ranura creada por el primer abresurco en realidad levanta el suelo y en cierta medida lo afloja. Si bien el segundo abresurco inclinado compacta el suelo más que si hubiera estado trabajando en una posición vertical, el preaflojamiento del suelo por el primer abresurco, que por lo general trabaja algo más profundamente que el segundo, contrarresta la mayoría de los efectos negativos.

Cuando un abresurco de doble o triple disco inclinado no es precedido por un abresurco similar inclinado en la dirección opuesta, la compactación por debajo del abresurco será mayor que si hubiera estado operando verticalmente. La compactación encima del abresurco será menor pero el aflojamiento del suelo tendrá poco efecto sobre la penetración de las raíces de las plántulas; sin embargo, podrá mejorar las propiedades de retención de humedad de la ranura lo cual a su vez reduce el riesgo de que las superficies internas de la ranura se sequen y formen costras.

Los abresurcos de doble o triple disco inclinados tienen todos los mismos problemas, relacionados con sus contrapartes verticales, como la introducción de residuos en la zona de la ranura y la tendencia en los suelos pegajosos a adherirse al exterior del disco y destruir la continuidad de la forma de la ranura. La cobertura de las ranuras varía de Clase II a Clase IV.

Abresurcos de disco vertical plano angulado – ranuras en forma de U

Estos abresurcos tienen poca o ninguna tendencia a la compactación y tampoco a levantar el suelo en condiciones pegajosas. Sin embargo, la cobertura de las ranuras puede ser difícil en tiempo húmedo continuo, por las mismas razones señaladas más adelante para los abresurcos tipo azada. Los abresurcos angulados también tienden a introducir resi-

duos en la ranura. La cobertura de las ranuras es típicamente Clase I o Clase II.

Abresurcos de tipo azada – ranuras en forma de U

Estos abresurcos por lo general dan lugar a poca compactación salvo cuando son diseñados con una base plana grande; en este caso pueden compactar la base de la ranura pero no sus paredes. En los suelos húmedos invariablemente alisan la base y las paredes de las ranuras. Esto es importante si la ranura permanece sin cobertura después de la siembra y las partes lisas se secan formando costras.

La cobertura es un problema particular. Los abresurcos de tipo azada funcionan en base a un aparato para cubrir que junta el material que está sobre el suelo a lo largo de la ranura y lo vuelve a colocar sobre la ranura como cobertura. En un suelo húmedo, es improbable que esos materiales de cobertura se vuelvan friables, por lo que la ranura es difícil de cubrir y se favorece el encostramiento.

Si la cobertura es una operación separada, su efectividad depende de permitir un secado suficiente para la formación de terrones en los residuos a lo largo de la ranura; sin embargo, el secado insuficiente permitirá algún alisado en la ranura que se transformará en costra. Por ello, si bien los abresurcos de azada pueden ser usados con éxito en los suelos húmedos es necesario tener una buena capacidad de manejo para superar varios problemas. Los abresurcos de azada pueden encontrar problemas en suelos pegajosos cuando el suelo se acumula en los lados del abresurco y cambia su forma y dimensiones. La cobertura de la ranura es típicamente Clase I.

Abresurcos movidos por toma de fuerza – ranuras en forma de U

Estos tipos de abresurcos por lo general compactan la base de la ranura y también pue-

den alisar esa zona. El alisado y la compactación raramente son severos y dado que el suelo no sale a menudo completamente fuera de la ranura, el alisado no constituye por lo general un riesgo de encostramiento, excepto cuando la siembra es seguida por un fuerte período de sequía.

Los abresurcos movidos por la toma de fuerza ventilan el suelo en forma mecánica más que cualquier otro tipo de abresurco; esto puede ser un beneficio para los suelos húmedos con un bajo nivel de contenido de residuos y poblaciones reducidas de lombrices de tierra. Por otro lado, algunos abresurcos movidos por la toma de fuerza pueden ser completamente inútiles en suelos húmedos pegajosos debido al embarrado de las hojas de corte. La cobertura de la ranura es típicamente de Clase IIIb.

Abresurcos de ala – ranuras en forma de T invertida

Estos abresurcos alisan la base de la ranura casi tanto como los abresurcos de azada pero dan lugar a una compactación mínima. Al igual que los abresurcos movidos por la toma de fuerza, los abresurcos de ala tienen la ventaja de que cierran la ranura por sí mismos o que cierran la ranura por medio de un aparato simple y que no dependen de la humedad o del clima. Por ello, el alisamiento no se transforma en encostramiento y, por lo tanto, no restringen el crecimiento de las raíces.

Los abresurcos de ala trabajan razonablemente bien en suelos pegajosos. La versión de discos de este abresurcos usa raspadores subsuperficiales para superar la tendencia de los suelos pegajosos a adherirse a los discos. La Lámina 42 muestra la utilidad de los raspadores usados en los abresurcos de ala en el mismo suelo pegajoso australiano de la Lámina 5. La integridad de la ranura y los residuos permanecen intactos. La cobertura de la ranura es típicamente de Clase IV.



Lámina 42 Cobertura de ranura de Clase IV que permanece intacta después del pasaje de un abresurco de ala equipado con raspadores (ranura en forma de T invertida), en suelo húmedo pegajoso (comparar con la Lámina 5).

Las Láminas 43 y 44 muestran secciones de suelo en las paredes de dos ranuras para labranza cero fotografiadas con un microscopio electrónico (Mai, 1978). Las áreas en color gris claro en el suelo sin compactar de la Lámina 43 son huecos y macroporos naturales. Además, se pueden ver materia orgánica en forma de raíces y residuos enterrados. En contraste, el suelo compactado en la Lámina 44 casi no tiene macroporos y muy poca materia orgánica visible. En su lugar, se aprecian unas pocas rajaduras en las cuales puede circular el oxígeno del suelo. Es por esta razón que las lombrices de tierra prefieren el suelo alrededor de las ranuras en forma de T invertida al suelo alrededor de las ranuras en forma de V.

El tipo de suelo también es importante en las siembras en suelos húmedos. Si el suelo toma la forma de una cinta al frotarlo entre el pulgar y el índice, muy probablemente será

alisado por los abresurcos con tendencia a esa acción. En general, los suelos arenosos y los suelos arcillosos bien estructurados y con razonablemente altos niveles de materia orgánica, raramente se alisan o quedan permanentemente compactados por el pasaje de abresurcos para labranza cero. Muchos suelos arcillosos se alisan rápidamente cuando están húmedos. Por otro lado, las arcillas montmorilloníticas pueden volverse pegajosas. Los suelos sedimentarios se encuentran en una posición intermedia entre los suelos arcillosos y los arenosos.

Muchas de las arcillas montmorilloníticas producen buenos cultivos por su alta capacidad de retención de agua, pero también tienen tendencia a encoger cuando se secan. Esto produce rajaduras internas que forman grandes fisuras en el suelo. Durante las primeras etapas de secado y rajado, la masa del suelo se rompe en partículas más pequeñas, casi

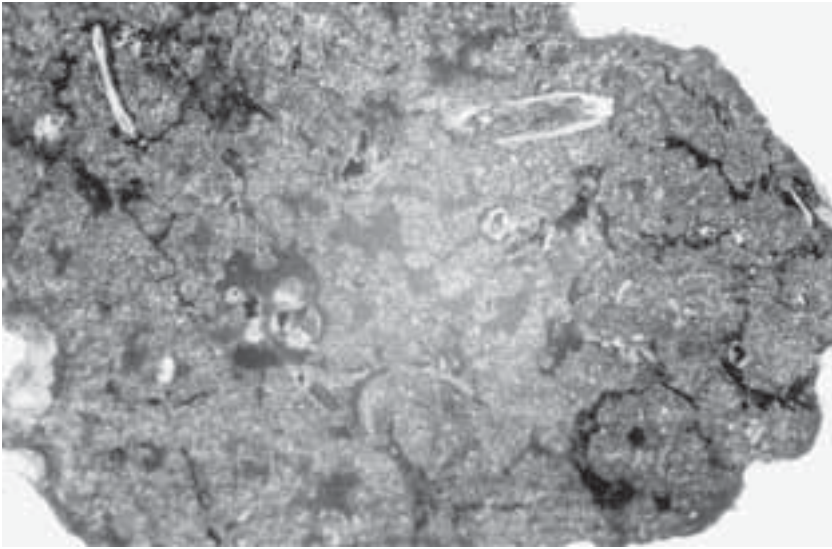


Lámina 43 Fotografía electrónica de una sección de suelo de la pared de una ranura en forma de T invertida (de Baker y Mai, 1982b).

como si hubiera sido labrado. Tales suelos son conocidos como de autocobertura. En realidad son un dilema para las prácticas de la-

branza porque cuando están húmedos son tan pegajosos que son difíciles de trabajar con el equipo de labranza y cuando se secan son más

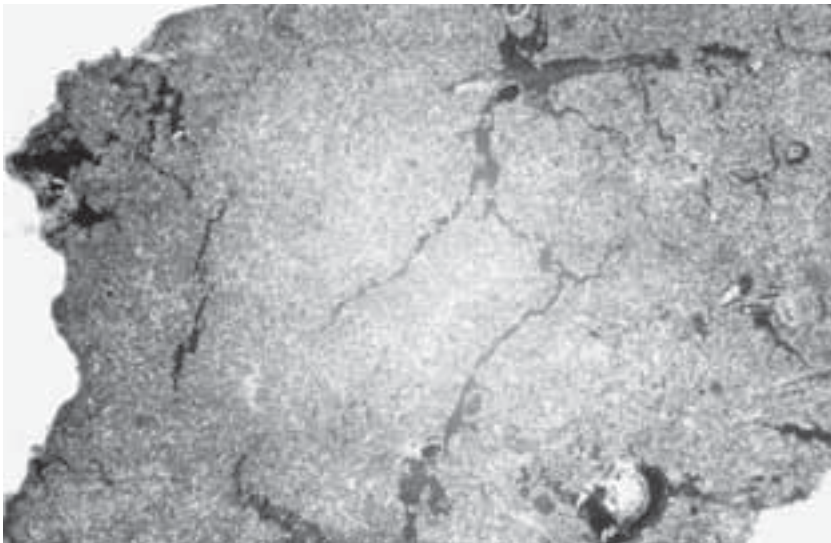


Lámina 44 Fotografía electrónica de una sección de suelo de la pared de una ranura en forma de V (de Baker y Mai, 1982b).

fáciles de trabajar pero se arriesga el sacrificio de la valiosa agua del suelo durante el secado y la labranza.

La labranza cero ofrece una opción valiosa para tales suelos ya que permite la siembra directa de los suelos no labrados con un disturbio mínimo; esto se hace mejor cuando se ha secado solo una pequeña parte de la superficie de la tierra.

Una función importante de los abresurcos para labranza cero es evitar que durante la siembra ocurra una inversión de las capas más profundas y húmedas, por dos razones: porque tal inversión sube suelo húmedo que se adhiere a todo el equipo y porque da lugar a una pérdida innecesaria de humedad del suelo. Esto contrasta con la labranza continua en la cual la resistencia de los suelos a la compactación y al alisado declina con el tiempo y el trabajo continuo. El tráfico de vehículos exagera la situación y conduce a una menor utilidad de esos suelos cuando son trabajados en estado húmedo. Dado que la práctica de labranza cero gradualmente incrementa los niveles de materia orgánica del suelo y su estructura, es probable que con el tiempo muchos suelos sean menos propensos al alisado o a la compactación y, por lo tanto, más aptos para ser sembrados cuando están húmedos.

Suelos secos sembrados que se vuelven húmedos

La siembra en suelos secos o húmedos que todavía tienen que humedecerse no crea problemas importantes de alisado o compactación con ninguno de los diseños de abresurcos. Así, las diferencias entre los abresurcos reflejan la capacidad de las distintas formas de ranuras para crear microambientes favorables para las semillas, las plántulas y las plantas en crecimiento aun cuando los suelos posteriormente se hayan vuelto húmedos. El criterio más importante es su efecto sobre el oxígeno del suelo ya que las raíces respiran y la saturación con

agua podría ahogar las raíces y la fauna benéfica del suelo.

Los suelos húmedos, especialmente cuando no han sido labrados, mantienen una relación compleja con las semillas. Por ejemplo, si el suelo no ha sido labrado durante algún tiempo y tiene una población razonable de lombrices de tierra, estas tienen un importante efecto sobre la difusión del oxígeno en la zona de las semillas y sobre el drenaje del agua. Los túneles construidos por las lombrices sirven como canales para la entrada del aire y la salida del agua.

Las lombrices de tierra también necesitan alimentos y responden rápidamente a la presencia o ausencia de los mismos. Existen varias especies de lombrices de tierra y cada especie prefiere ocupar el suelo a una cierta profundidad. Las que se alimentan en los residuos superficiales (por ej., *Lumbricus rubellus* Hoff y *Allolobophora caliginosa* Sav) viven cerca de la superficie y son las primeras en reaccionar al exceso de agua en la superficie del suelo. También reaccionan a la presencia o ausencia de residuos, que son su abastecimiento de alimentos, hasta el punto que sus túneles y deyecciones reflejan la presencia de residuos superficiales a pocos centímetros de distancia.

En experimentos con abresurcos para labranza cero en suelos que aún debían humedecerse, Chaudhry (1985) probó los efectos de la presencia o ausencia de residuos superficiales. Las parcelas «con residuos» habían tenido durante largo tiempo raigrás perenne (*Lolium perenne*) tratado con herbicidas. En las parcelas «sin residuos» el pasto se cortó a nivel del suelo y fue removido de la parcela inmediatamente antes de la siembra. En estas parcelas, 24 horas después de haber cortado el pasto, las poblaciones de lombrices de tierra se habían reducido a la mitad, probablemente como respuesta a la remoción de su principal fuente de alimentos.

También se ha observado que las lombrices de tierra parecen tener preferencia por la zona

de la ranura disturbada después de la siembra, en contraposición con las zonas sin disturbar, pero solamente en el caso en que esté recubierta con una fuente de alimentos (residuos) y si estos no están compactados. Probablemente el suelo suelto sea más favorable para la construcción de sus túneles y los residuos proporcionan un ambiente mejorado y una fuente conveniente de alimentos.

El Cuadro 8 muestra los efectos sobre la emergencia de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare*) en un suelo húmedo, con tres formas comunes de ranuras con y sin residuos en la superficie (Chaudhry, 1985; Chaudhry y Baker, 1988). El Cuadro 8 también muestra el número de lombrices de tierra recuperadas en zonas de muestreo de 120 mm de diámetro y 100 mm de profundidad centradas en las ranuras sembradas. El índice de actividad de las lombrices, medido como el porcentaje del área de tierra cubierta por sus deyecciones, mostró tendencias similares con el número de lombrices contadas en los lugares de muestreo. En este experimento, para crear condiciones muy húmedas después de la siembra, el suelo fue regado con 20 mm diarios de lluvia simulada en un período de cuatro horas durante 20 días (en total 400 mm en 20 días). En la situación de campo, tal intensidad de lluvia repetida produciría condiciones supersaturadas y el embarrado de la superficie en un breve plazo. En los recipientes de drenaje libre usados en este experimento no ocurrió la supersaturación pero, de cualquier manera, el suelo permaneció por encima de la capacidad de campo la mayoría del tiempo.

Hubo tres claras tendencias en los datos del Cuadro 8. En primer lugar la mayor emergencia de plántulas fue promovida por el tratamiento de siembra a voleo sobre la superficie (87 por ciento) y las ranuras en T invertida creadas por abresurcos de ala (76 por ciento, sin diferencia estadística). A continuación se encontraron las ranuras creadas por los abresurcos de azada (65 por ciento) y los abresurcos movidos por la toma de fuerza (63 por ciento). Las ranuras verticales en forma de V

creadas por los abresurcos de disco doble y los huecos en forma de U creados por una siembra a golpe simulada tuvieron un comportamiento pobre (24 y 17 por ciento de emergencia de las plántulas, respectivamente).

En segundo lugar, el número de lombrices encontradas en las muestras de suelo centradas en las ranuras sembradas reflejaron muy estrechamente el recuento de las plántulas. La mayoría de las lombrices fueron encontradas en la zona de las ranuras creadas por los abresurcos de ala (25), de azada (22) y movidos por la toma de fuerza (23) junto con la siembra a voleo (22) y tal vez la siembra a golpe (18); sin embargo, el abresurco vertical de doble disco tuvo un resultado menor, de solo 9 lombrices.

En tercer lugar, la presencia o ausencia de residuos tuvo un efecto muy positivo, tanto sobre la emergencia de las plántulas como sobre el número de lombrices de tierra, con el abresurcos en T invertida y con algunas de las ranuras y los huecos en U, pero no con las ranuras en V o con la siembra a voleo sobre la superficie. Los residuos mejoraron la emergencia de las plántulas en el caso de las ranuras en T invertida, del 48 al 76 por ciento y el número de lombrices de 13 a 25. El efecto de las ranuras en U no fue tan marcado pero, de cualquier manera, con el abresurco de azada los residuos mejoraron la emergencia de las plántulas del 40 al 65 por ciento y el número de lombrices de 13 a 22.

En contraste, los residuos redujeron la emergencia de las plántulas con los abresurcos verticales de doble disco (25 al 17 por ciento) y con sembradora a golpes (del 17 al 14 por ciento), pero no tuvieron efectos sobre la siembra a voleo o los abresurcos movidos por la toma de fuerza. El último caso no es sorprendente ya que el abresurco movido por la toma de fuerza tritura los residuos superficiales (y probablemente también un cierto número de lombrices) y los incorpora al suelo. En el caso de la siembra superficial a voleo, las semillas quedaron sobre la superficie del terreno, con

Cuadro 8 Efectos de los abresurcos para labranza cero sobre la emergencia de las plántulas de cebada y el número de lombrices de tierra en un suelo húmedo después de la siembra.

	Abresurco vertical de doble disco		Abresurco de azada		Abresurco de ala		Abresurco movido		Sembradora		Siembra a voleo	
	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR	R	NR
Emergencia plántulas, con lombrices (%)	17	25	65	40	76	48	63	62	17	15	84	87
Número lombrices (por muestra)	9	8	22	13	25	13	23	14	18	10	22	14
Emergencia plántulas, sin lombrices (%)	15	19	24	23	20	22	43	41	14	16	89	89

Nota: R: parcelas con residuos superficiales, antes y después de la siembra. NR: parcelas sin residuos superficiales, antes y después de la siembra.

lo que era menos probable que fueran afectadas por la actividad de las lombrices debajo de la superficie. Más aún, dado que la humedad no era un factor limitante, no sorprende que los residuos en la superficie del suelo no tuvieran un efecto directo sobre la emergencia con el tratamiento de siembra a voleo.

Estos resultados sugieren que las tres tendencias observadas en el suelo húmedo están relacionadas entre sí. La tercera línea del Cuadro 8 ilustra la emergencia cuando las lombrices fueron eliminadas del suelo por envenenamiento, en otro experimento idéntico.

En todos los casos, la ausencia de lombrices disminuyó la emergencia de las plántulas. La mayoría de las ventajas de los residuos con ranuras en T invertida y en U desaparecieron en ausencia de lombrices, lo que indica un fuerte nexo entre los tres factores cuando estaban presentes conjuntamente. Esto también demuestra uno de los beneficios a largo plazo de la labranza cero, o sea el aumento del número de lombrices y la materia orgánica; esto favorece este sistema de producción, siempre que se use el equipo adecuado para mantener y capitalizar esos beneficios.

Los datos del Cuadro 8 también muestran que la aireación mecánica, en alguna medida, puede sustituir la ausencia de aireación natural causada por las lombrices y otra fauna del suelo. El tratamiento químico para matar las lombrices también mata alguna otra fauna del suelo que también forma canales. Si bien el uso de abresurcos movidos por la toma de fuerza puede ser beneficioso a corto plazo cuando se siembra en suelos que posteriormente se humedecerán, este fue el único abresurcos que promovió más del 24 por ciento de emergencia de plántulas en el suelo «esterilizado». Incluso en este caso, el 43 por ciento de emergencia obtenido con este abresurcos con residuos y el 41 por ciento sin residuos no pueden ser considerados como satisfactorios y no se pueden comparar con el 76 por ciento obtenido con el abresurco de ala en presencia tanto de lombrices como de residuos.

La siembra superficial a voleo promovió la mayor emergencia de plántulas en la ausencia de lombrices (89 por ejemplo, tanto con como sin residuos), presumiblemente porque las semillas en la superficie no fueron afectadas por la actividad de las lombrices debajo de la tierra. Pero este tratamiento difícilmente será recomendado como una práctica de campo, salvo si se pudieran asegurar 400 mm de lluvia en los primeros 20 días después de la siembra; en este experimento fue usado solamente con el propósito de comparar las necesidades de oxígeno y agua de las semillas.

La Figura 18 ilustra respuestas similares a las recién presentadas para ranuras en T invertida, abresurcos de azada con ranuras en U y abresurcos verticales de doble disco con ranuras en V. Los efectos más claros son que la emergencia de las plántulas sigue la tendencia del número de lombrices con todos los tipos de abresurcos. Además, los residuos incrementaron tanto la emergencia como el número de lombrices con los abresurcos en T invertida y los abresurcos de azada pero no con los abresurcos verticales de doble disco.

Para entender mejor las interacciones entre los tipos de abresurcos, el nivel de humedad del suelo y la cantidad de residuos presentes, Chaudhry (1985) ejecutó un experimento en el cual esos factores fueron variados en forma independiente. Los resultados se presentan en el Cuadro 9.

Los datos muestran que la mayoría de los abresurcos se comportaron razonablemente bien en condiciones favorables del suelo, sin considerar el nivel de residuos (variación del 65 al 90 por ciento en la emergencia de las plántulas). Sin embargo, cuando las condiciones del suelo pasaron a ser húmedas, los problemas de los abresurcos verticales de doble disco con ranura en V fueron progresivamente más aparentes a medida que aumentaba el largo de los residuos. En el suelo húmedo, la emergencia de las ranuras en V cayó del 38 por ciento sin residuos al 35 por ciento con residuos cortos y al 30 por ciento con residuos largos. Por otro lado, los abresurcos de ala y

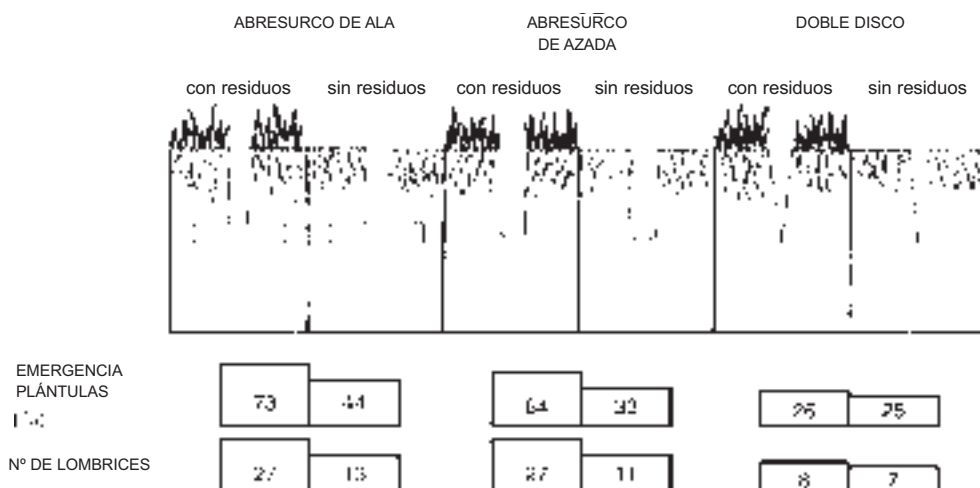


Figura 18 Respuestas de la emergencia de plántulas y número de lombrices a tres formas de ranuras para labranza cero y a residuos superficiales en un suelo húmedo (de Baker *et al.*, 1996).

Cuadro 9 Efecto de los abresurcos, niveles de residuos y estado de la humedad del suelo sobre la emergencia de las plántulas de cebada en un suelo con lombrices de tierra.

	Emergencia de las plántulas								
	Abresurcos vertical de doble disco con ranura en V Cobertura Clase I			Abresurcos de azada con ranura en U Cobertura Clase I y IIIa			Abresurco de ala con ranura en T invertida Cobertura Clase IV		
	LR	SR	NR	LR	SR	NR	LR	SR	NR
Humedad adecuada	65	84	82	86	70	76	90	76	82
Suelo húmedo	30	35	38	68	36	42	75	43	47

Nota: LR: residuos largos. SR: residuos cortos. NR: sin residuos.

los de azada se comportaron mejor cuando los residuos largos cubrieron el suelo húmedo, lo cual fue atribuido al incremento de la actividad de las lombrices debida a los residuos largos. Cuando con esos dos abresurcos se redujo el largo de los residuos, sus ventajas sobre el abresurcos de doble disco vertical fueron reducidas o eliminadas.

Si bien el abresurco de azada respondió positivamente a los residuos largos, en realidad es difícil que un abresurco de azada funcione

bien en el campo con residuos largos. Un hecho distinto es realizar este tratamiento en parcelas experimentales ya que en el campo los abresurcos se bloquean rápidamente porque rastrillan los residuos. Por lo tanto, en la práctica, de los dos abresurcos de buen comportamiento en los suelos húmedos con residuos largos, solo el abresurcos de ala con ranura en T invertida fue capaz de manejar los residuos en su configuración con discos, lo que es considerado una opción práctica.

Comportamiento de los abresurcos

El comportamiento de los distintos abresurcos para siembra en el suelo (humedecido después de la siembra) puede ser resumido como sigue.

Abresurcos movidos por la toma de fuerza – ranuras en forma de V

Estos abresurcos, en ausencia de lombrices de tierra, proporcionan una aireación mecánica compensatoria. Sin embargo, la presencia de lombrices no resultará necesariamente en un mejoramiento de la emergencia de las plántulas porque las ganancias de la aireación mecánica de un suelo poblado por lombrices son superadas por el enterrado de las fuentes de alimentos para las lombrices que se alimentan en la superficie. También habrá una destrucción de las lombrices en la zona de las ranuras pero, dado que el ancho de labranza de esos abresurcos es normalmente angosto, es probable que la zona de las ranuras sea rápidamente recolonizada por las lombrices de las zonas vecinas sin disturbar.

Siembra a golpes – huecos en V o U

Esta siembra probablemente no produzca buenos resultados, con o sin lombrices, si bien es necesario proseguir con las investigaciones de estas sembradoras. Los malos resultados de estas sembradoras en estos experimentos fue algo sorprendente ya que el método usado para hacer los huecos no causó ninguna compactación. En la práctica, las sembradoras a golpes casi siempre producen huecos en V, los cuales podrían comportarse de la misma forma que las ranuras en V. Sin embargo, en este caso, se usó un pequeño aparato para extraer muestras de suelo sin compactación.

Abresurcos verticales de doble disco – ranuras en V

En general, este tipo de abresurcos tiene un comportamiento mediocre en los suelos húme-

dos por dos razones. En primer lugar, la compactación y el alisado y, en segundo lugar, el encostramiento, lo que da lugar a que las lombrices eviten el área de la ranura. Esto no solo pone en desventaja a las semillas sino que también se opone a los procesos naturales –las lombrices de tierra– que pueden reparar el daño.

Para examinar la tolerancia de las lombrices de tierra al alisado, Chaudhry (1985) colocó un número de lombrices sobre la superficie húmeda de un suelo blando contenido en dos macetas altas (para prevenir el escape de las lombrices). Antes de colocar las lombrices en las macetas, encostró ligeramente la superficie de una de las parcelas con sus dedos. Durante la noche, todas las lombrices en la maceta sin encostrar habían construido túneles en el suelo mientras que solamente la mitad de las lombrices lo habían hecho en el otro tratamiento; esto fue una indicación de la dificultad que tienen las lombrices para construir túneles a través de las costras.

Chaudhry (1985) también probó la tolerancia de las lombrices a la compactación y encontró casi el mismo resultado que para el encostramiento. Dado que los suelos húmedos son más blandos que los suelos secos, la acción de los abresurcos de discos dobles verticales a través de los residuos superficiales en los suelos húmedos es más de presión que de corte. Esto acentúa su tendencia a la compactación. Las ranuras que están encostradas o compactadas son evitadas por las lombrices y no se benefician de sus túneles o del reciclaje de nutrientes (Baker *et al.*, 1987, 1988).

En segundo lugar, los abresurcos de doble disco introducen los residuos en las ranuras. En los suelos húmedos, Lynch (1977, 1978) y Lynch *et al.* (1980) mostraron que la descomposición de estos residuos produce ácidos grasos, especialmente ácido acético, los cuales tienden a matar las semillas y las plántulas germinadas. Buscaron formas para combatir este problema, desde la aplicación de cal con las semillas para neutralizar el ácido hasta separar las semillas de los residuos.

Aparentemente, la separación aun a una pequeña distancia podría evitar el problema dado que el ácido acético es rápidamente descompuesto por las bacterias del suelo. El problema del atascamiento con residuos se refleja en la respuesta negativa a la presencia de residuos por el abresurco vertical de doble disco y por el hecho de que esta respuesta negativa se incrementó a medida que aumentaba el largo de los residuos y de sus trozos.

Si bien los abresurcos de discos dobles inclinados y de discos angulados no fueron incluidos en el experimento, es sabido que ambos tipos de abresurcos introducen los residuos en la zona de las semillas, casi de la misma forma que los abresurcos verticales de doble disco. Por lo tanto, puede esperarse que ocurra la fermentación acética con su efecto deletéreo sobre las semillas, pero habría menos problemas con el alisado y la compactación.

Abresurcos en ala – ranuras en T invertida

Estos abresurcos retornan la mayoría de los residuos encima –y no dentro– de la ranura. Esto estimula a las lombrices a colonizar la zona de las ranuras ya que cuando se remueve el residuo, el número de lombrices declina claramente. El disco central de la versión con discos del abresurco con ala introduce los residuos tal como ocurre con todos otros tipos de abresurcos de disco. Pero las hojas laterales en ala colocan la semilla en un lado de la ranura central y, por lo tanto, alejan las semillas del contacto con los residuos comprimidos. Este es probablemente el único tipo de abresurco de disco que previene efectivamente que las semillas caigan sobre los residuos; por esta razón se benefician de la presencia de los residuos aún húmedos. Cuando se colocaron residuos largos sobre la ranura, la ranura en T invertida produjo más emergencia de plántulas que cualquier otro diseño.

Abresurcos de azada – ranuras en U

Estos abresurcos se comportan en forma similar a los abresurcos de ala, excepto que en lugar de colocar el residuo sobre la ranura tienden a empujarlo hacia los lados. Como consecuencia, si bien los abresurcos de azada producirán una respuesta positiva a la presencia de residuos (en lo que se refiere a la emergencia de plántulas y al número de lombrices), la respuesta probablemente no sea tan positiva como en el caso de los abresurcos de ala.

Las respuestas a la emergencia de las plántulas de los distintos tipos de abresurcos y a la siembra a voleo también se reflejan en el peso de las raíces y los tallos de las plántulas, como se aprecia en las Figuras 19 y 20 (con y sin lombrices de tierra, respectivamente).

Sin lombrices hubo pocas diferencias entre los abresurcos. Solamente la aireación mecánica de los abresurcos movidos por la toma de fuerza tuvo un efecto positivo. Sin embargo, con lombrices, el crecimiento de las plántulas fue similar a las tendencias de la emergencia de las plántulas y del número de lombrices.

La Figura 21 muestra las tasas típicas de difusión de oxígeno en el suelo con lombrices asociado con abresurcos de ala y de doble disco (Chaudhry, 1985; Baker *et al.*, 1987, 1988). La tasa de difusión de oxígeno se mide por el paso de una corriente a través de electrodos de platino sobre una malla alrededor de las ranuras sembradas y midiendo la tasa de consumo y reemplazo de oxígeno alrededor de los electrodos (ver Capítulo 19).

La Figura 21 muestra que el abresurco de ala no tuvo un efecto negativo sobre el estado del oxígeno en el suelo. El estado del oxígeno que rodea los abresurcos de azada, movidos por la toma de fuerza y de golpe (no mostrado) fue muy similar al del abresurco de ala. De hecho, todos los abresurcos tenían modelos similares de comportamiento al del suelo sin disturbar, lo que indica que ninguno de ellos tenía efectos negativos sobre la tasa de difusión del oxígeno en el suelo. Sin embargo,

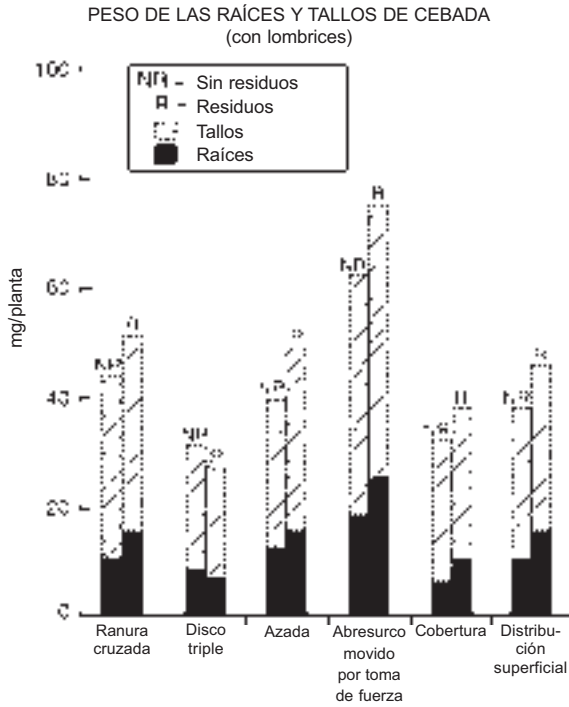


Figura 19 Peso de las raíces y los tallos de plántulas de cebada en labranza cero en respuesta a distintos tipos de abresurcos y residuos y en la presencia de lombrices de tierra (de Baker *et al.*, 1988).

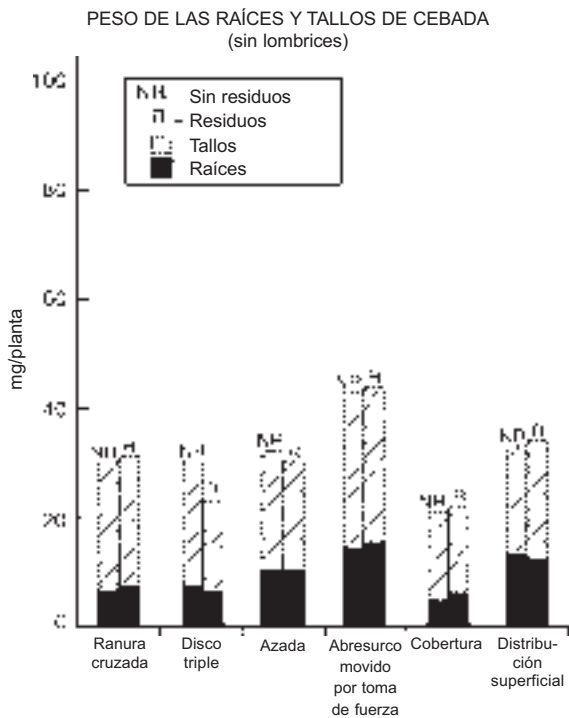


Figura 20 Peso de las raíces y los tallos de plántulas de cebada en labranza cero en respuesta a los tipos de abresurcos y residuos y en la ausencia de lombrices (de Baker *et al.*, 1988).

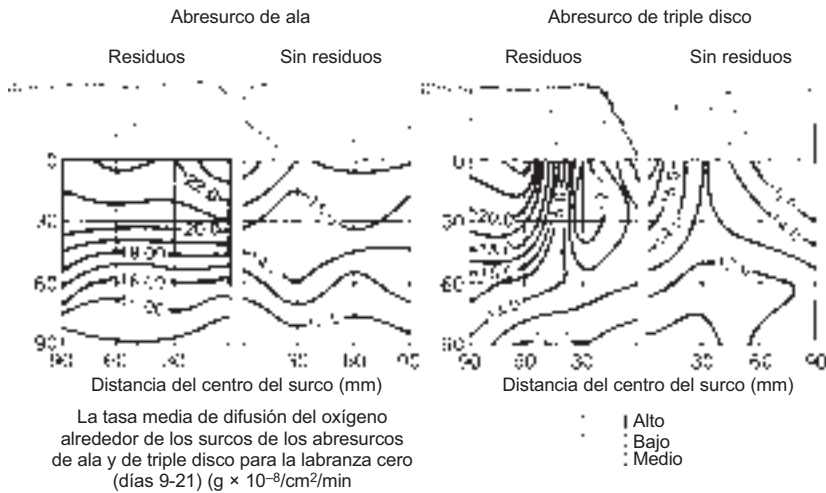


Figura 21 Perfiles de la tasa de difusión de oxígeno alrededor de abresurcos de ala y de doble disco en labranza cero que operan en un suelo húmedo sedimentario-arcilloso, en presencia y ausencia de residuos superficiales (de Baker *et al.*, 1988).

en todos los casos, la presencia de residuos movió las zonas de alto contenido de oxígeno más cerca de las semillas, probablemente como resultado de una mayor actividad de las lombrices de tierra.

En contraste, el abresurco de doble disco tuvo un marcado efecto negativo sobre la situación del oxígeno en el suelo, sin tener en consideración la presencia o ausencia de residuos. Esencialmente, este abresurco, en función de su acción de cuña, empuja las zonas de alto contenido de oxígeno lejos de las semillas y las reemplaza con zonas compactadas o bajas o, en el mejor de los casos, con una difusión media de oxígeno.

También se debe hacer notar que los efectos de la humedad sobre el suelo, con o sin lombrices, no parecen estar relacionados con la forma en que se humedece el suelo. Por ejemplo, Chaudry (1985) realizó dos experimentos con lombrices y residuos, idénticos en todos sus aspectos, excepto que en uno de ellos usó lluvia simulada para humedecer el suelo después de la siembra y en el otro usó una capa freática en ascenso. Estuvo particular-

mente interesado en saber si la lluvia persistente tenía algún efecto de sellado sobre las caras internas de la cobertura o, por el contrario, arrastró las semillas. No encontró diferencias en el comportamiento de las plántulas de cebada en el humedecimiento del suelo desde el lado de arriba o de abajo, pero ambos experimentos confirmaron las diferencias entre los abresurcos y los residuos.

Más tarde, Giles (1994), en Nueva Zelanda, cuantificó la tasa de acumulación de biomasa de lombrices en los 100 mm superiores del suelo como función de los distintos niveles de paja de cebada sobre la superficie de la tierra. Encontró una relación casi lineal en la cual la biomasa total de dos especies de lombrices que se alimentan en superficie (*Lumbricus rubellus* Hoff y *Allolobophora caliginosa* Sav) habían acumulado hasta 9 t/ha bajo 11 t/ha de paja y 5,1 t de lombrices bajo 6,4 t/ha de paja. Durante este período la biomasa recuperable de la paja había decrecido de 11 t/ha a 3,2 t/ha y de 6,4 t/ha a 1,2 t/ha, respectivamente. En los primeros seis meses, la mayor cantidad de residuos permaneció más

húmeda que la cantidad más liviana, lo cual podría tener influencia sobre la descomposición más rápida de la primera. Al final del experimento, una parte de los residuos parecía haberse descompuesto mientras que la otra parte había simplemente sido enterrada con las deyecciones de las lombrices.

Se debe tener en consideración que estos niveles de paja de cereales fueron deliberadamente establecidos a niveles altos para probar la capacidad de las lombrices para enfrentar condiciones de «sobrecarga» en labranza cero. En términos generales, tales niveles de paja se igualan con los rendimientos de los granos en proporción similar.

Finalmente, los experimentos relacionados con suelos húmedos no serían completos sin medir la infiltración del agua en las zonas de las ranuras en el campo. La Figura 22 muestra los resultados de un experimento de campo que compara las tasas de infiltración de varios abresurcos en un suelo sedimentario arcilloso cubierto de residuos y con lombrices (Baker *et al.*, 1987). El resultado refleja las tendencias de las lombrices y la emergencia de las plántulas. El abresurco de ala con ranura en T invertida produjo la infiltración más rápida (110 mm/h después de dos horas), lo que no es sorprendente ya que había promovido la mayor actividad de las lombrices y

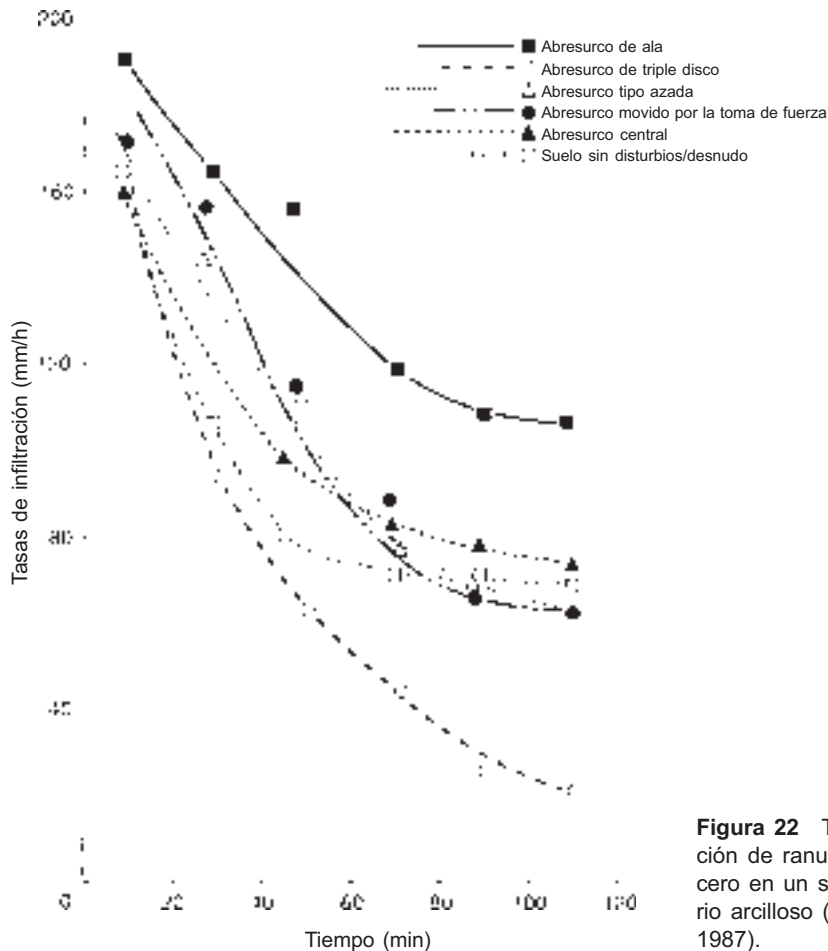


Figura 22 Tasas de infiltración de ranuras en labranza cero en un suelo sedimentario arcilloso (de Baker *et al.*, 1987).

la emergencia de plántulas. El siguiente fue el grupo de abresurcos que incluye azada, movidos por la toma de fuerza (ranuras en U) y sembradoras a golpe (huecos en U), junto con el suelo sin disturbar, todos los cuales promediaron 70 mm/h después de dos horas. La peor infiltración ocurrió con el abresurco de doble disco (ranura en V), con solo 20 mm/h de infiltración después de dos horas. El agua permaneció encharcada en las ranuras en V varias horas después del experimento.

Resumen de la siembra en suelos húmedos

1. La clasificación de las tres formas básicas de ranuras, de las más pobres a las mejores (en V, U y T invertida), en suelos húmedos que contienen lombrices de tierra y residuos es exactamente la misma que para los suelos húmedos, si bien es diferente en ciertos aspectos.
2. Las semillas deben tener un acceso rápido al oxígeno en los suelos húmedos; los distintos abresurcos crean diferentes ambientes de oxígeno alrededor de las semillas en suelos húmedos.
3. Los abresurcos de doble disco tienen un efecto contrario sobre la tasa de difusión del oxígeno alrededor de la semilla en la ranura.
4. Los abresurcos en T invertida, azada y movidos por la toma de fuerza, junto con sembradoras a golpe, tienen un efecto positivo o neutro, sobre la difusión del oxígeno alrededor de la ranura.
5. Las lombrices y los residuos sobre la superficie dan claras ventajas si se manejan correctamente. Ambos se incrementan con el tiempo bajo labranza cero y tienen un efecto creciente sobre la aireación, el drenaje y la infiltración.
6. Los abresurcos de ala y azada favorecen la actividad de las lombrices en la zona de las ranuras.
7. Los residuos superficiales favorecen la actividad de las lombrices; la actividad es proporcional a la cantidad de residuos.
8. La capacidad de las ranuras en T invertida de los abresurcos de ala para retener los residuos sobre la ranura es importante tanto en los suelos húmedos como en los suelos secos porque estimula la actividad de las lombrices dentro y alrededor de la ranura sembrada.
9. Los abresurcos de discos dobles, triples y angulados junto con las sembradoras a golpe tienden a introducir residuos en la zona de las semillas con un efecto negativo sobre la germinación. Esto ocurre sobre todo en el caso de residuos largos, filiformes y húmedos.
10. Los abresurcos de ala, azada, movidos por la toma de fuerza y los surcadores separan efectivamente los residuos en descomposición del contacto directo con las semillas.
11. En ausencia de lombrices de tierra, la aireación mecánica de las ranuras por medio de abresurcos movidos por la toma de fuerza pueden ofrecer un beneficio a corto plazo.
12. La siembra superficial a voleo puede tener un buen comportamiento en caso de lluvias cotidianas uniformes durante tres semanas después de la siembra; obviamente esta no puede ser considerada una opción práctica.
13. Las ranuras en forma de V y los huecos de las sembradoras a golpe tienden a compactar o alisar. La cobertura Clase I (o la falta de cobertura) favorece que ese alisado se transforme en encostramiento.
14. El alisado y/o el encostramiento desalientan la actividad de las lombrices en la zona de las ranuras.
15. Las ranuras en U creadas por los abresurcos en azada, movidos por la toma de fuerza y los surcadores pueden ser alisadas pero solo mínimamente compactadas. Si es posible tener coberturas de Clase II o

- superior a esta, el alisado no formará costuras al secarse.
16. Las ranuras en U creadas por los abresurcos con discos angulados no se alisan ni se compactan.
 17. Las ranuras en T invertida creadas por los abresurcos de ala pueden ser alisadas pero no compactadas. La cobertura Clase IV previene el secado de la parte alisada.
 18. Es posible tener una excelente infiltración de agua con las ranuras en T invertida pero es probable que esta sea pobre con ranuras en V creadas por los abresurcos de doble o triple disco. Sin embargo, es posible que la infiltración entre los surcos sea mayor con labranza cero que con labranza tradicional, especialmente con una mayor población de lombrices y más materia orgánica.
 19. Es posible obtener una excelente emergencia con las ranuras en T invertida en los suelos húmedos; una emergencia satisfactoria se puede obtener con la mayoría de los abresurcos que crean ranuras en U.
 20. Una emergencia pobre de las plántulas puede ocurrir en las ranuras o los huecos en V en los suelos húmedos.

8

Profundidad, colocación y distanciamiento de las semillas

C. John Baker y Keith E. Saxton

La colocación precisa de las semillas es más importante en la labranza cero que en la labranza común.

Cuando un abresurcos en una sembradora para labranza cero deposita la semilla y, a veces, el fertilizante en el suelo, su capacidad para controlar la ubicación final de la semilla y el ambiente en que la coloca depende de un cierto número de funciones, a veces contradictorias. La capacidad combinada requerida de la sembradora y del abresurcos incluyen las siguientes funciones:

1. Seguir en forma continua la superficie del suelo de cada surco y mantener una profundidad de siembra precisa.
2. Colocar las semillas debajo del suelo, en movimiento, en una banda uniforme relativa al abresurcos mismo.
3. Cubrir las semillas y, a veces, el fertilizante, o por lo menos favorecer una cobertura efectiva, después que pasó el abresurcos.
4. Separar las semillas del fertilizante si ambos se colocan simultáneamente en la misma operación y optimizar la posición de uno respecto al otro para maximizar la respuesta biológica.
5. Distanciar y colocar las semillas con el espaciado y en la forma deseadas a lo largo del surco.
6. Transferir las semillas de los mecanismos de distanciamiento a los abresurcos sin

cambiar el modelo o el distanciamiento requeridos.

Las funciones 1 a 3 son importantes para una colocación correcta de la semilla. La función 4 es importante para la colocación del fertilizante tal como se describe en el Capítulo 9. Las funciones 5 y 6 –y en cierta medida la función 1– dependen del diseño de la sembradora, especialmente de la configuración del brazo de arrastre y del mecanismo de empuje vertical así como de los abresurcos.

La colocación de la semilla en el suelo es función del diseño del abresurco. Para obtener óptimos resultados, los abresurcos deben tener capacidad para:

- ignorar o controlar el disturbio del suelo debajo de la superficie del suelo (o falta de disturbio en los suelos húmedos);
- ignorar la adhesividad del suelo;
- superar las obstrucciones debajo de la superficie, tales como piedras o similares;
- evitar colocar las semillas sobre residuos erectos;
- prevenir el rebote de las semillas;
- cubrir la ranura a una profundidad adecuada.

La cobertura puede ser una operación separada hecha por otra máquina (por ej., rastra), en cuyo caso los abresurcos deberían crear las ranuras de tal forma que la operación de cobertura se haga a una profundidad uniforme (ver Capítulo 5).

El distanciamiento de las semillas es función del mecanismo de la sembradora y no es exclusivo de la labranza cero. En general, una sembradora de precisión es diferente de una sembradora común por el hecho de que entrega las semillas en forma individual con la intención de que queden separadas a una distancia predeterminada. Una sembradora común entrega las semillas en forma masiva de modo que un cierto número (o peso) de semillas es depositado en una cierta longitud de surco (o área determinada), con una distribución aproximadamente uniforme y sin intentar obtener un espaciamiento regular entre las mismas.

La transferencia de las semillas del mecanismo distanciador al abresurcos debería ser una función común pero, especialmente con el distanciamiento de la siembra de precisión, esta transferencia debe mantener continuidad en la distancia entre las semillas y colocarlas con un espaciamiento constante en el surco. Los agrónomos discuten acerca de los efectos de las variaciones en el distanciamiento de las semillas sobre el rendimiento de los cultivos, especialmente cuando este se contrapone a la variación natural entre las plantas y a su capacidad para compensar un espaciamiento imperfecto. Sin embargo, la mayoría de los expertos convienen en que hay pocas desventajas agronómicas en el caso de las semillas ordenadas a intervalos precisos en el surco. En el caso del maíz, las últimas evidencias sugieren que la profundidad uniforme de la siembra y la emergencia son probablemente más importantes que el espaciamiento entre las plantas.

Profundidad de siembra y emergencia de las plántulas

Hay un consenso casi general de que la profundidad de siembra debería ser tan uniforme como fuera posible. Sorprendentemente, ha habido pocos estudios para cuantificar la profundidad de siembra de las semillas sembradas en

el sistema de labranza cero (a diferencia de los sistemas corrientes de labranza) respecto al efecto de la variación de la profundidad ideal sobre el comportamiento de los cultivos. Obviamente, la importancia de este factor variará con el potencial de compensación del crecimiento de cualquier cultivo o especie.

Para cuantificar los efectos de la emergencia de las plántulas desde una profundidad de siembra imperfecta bajo condiciones de labranza cero, Hadfield (1993) midió las variaciones de la germinación y la emergencia de trigo (*Triticum aestivum*) y lupino (*Lupinus angustifolius*) sembrados a varias profundidades en ranuras en forma de T invertida para labranza cero. Los resultados se presentan en el Cuadro 10.

Hadfield concluyó que la variedad de trigo usada (cv. Otane) era menos sensible a la profundidad de siembra que el lupino a las profundidades de 20 a 50 mm, pero ambos fueron seriamente afectados a profundidades mayores de 50 mm. En general, la emergencia de las plántulas de esta variedad de trigo decreció un 4 por ciento o por cada 10 mm de incremento de la profundidad de siembra, entre 20 y 70 mm. Sin embargo, se han observado otras tolerancias muy diferentes a la profundidad de siembra en otras variedades de trigo. En comparación, en estos experimentos, la emergencia del lupino decreció un 17 por ciento por cada 10 mm de incremento de la profundidad entre los 20 y los 70 mm. En ambos casos, la reducción de la emergencia de las plántulas no fue causada por la falta de germinación de las semillas sino por la mortalidad subsuperficial de las plántulas que habían germinado. Esto confirmó observaciones anteriores de Heywood (1977).

Campbell (1981, 1985) estudió las profundidades de siembra de semillas pequeñas de leguminosas forrajeras, como el trébol rojo (*Trifolium pratense*), sembradas en ranuras en forma de T invertida para labranza cero. Llegó a la conclusión de que la emergencia de las plántulas de las leguminosas forrajeras fue

Cuadro 10 Efectos de la profundidad de siembra sobre la emergencia de las plántulas de trigo y lupino en labranza cero.

Profundidad nominal de siembra	Emergencia de plántulas (plantas/m ² en paréntesis)	
	Trigo	Lupino
20 mm	79% (209) a	93% (66) a
30 mm	80% (210) a	87% (62) b
50 mm	73% (192) a	60% (43) c
70 mm	61% (169) b	24% (17) d

Fuente: Hadfield (1993) .

Notas: Las cifras seguidas de letras diferentes denotan diferencias significativas, $P < 0,05$.

Porcentaje de emergencia de plántulas = porcentaje del número estimado de semillas sembradas de los pesos conocidos de las semillas sembradas.

especialmente sensible a las profundidades de siembra por debajo de una profundidad media de 13 mm. Los resultados se encuentran en el Cuadro 11.

Salmon (2005) examinó los efectos de las profundidades de siembra (de 0 a 50 mm) sobre la emergencia de plántulas de *Brassica* sp. cuando se sembraron en varios suelos de Nueva Zelanda usando la versión de abresurcos de ala para labranza cero. También buscó las interacciones con los tratamientos de semillas que comprendieron revestimiento de la semilla (Superstrike), tratados con insecticidas (Gaucho®) o semillas desnudas sin tratar.

Cuadro 11 Efectos de la profundidad de siembra sobre la emergencia de las plántulas de trébol rojo en labranza cero.

Profundidad nominal de siembra	Emergencia de plántulas (%)
0 mm	53 (b)
13 mm	89 (b)
38 mm	56 (b)

Fuente: Campbell (1985).

Notas: Las cifras seguidas de letras diferentes denotan diferencias significativas, $P < 0,05$.

Porcentaje de emergencia de plántulas = porcentaje del número estimado de semillas sembradas de los pesos conocidos de las semillas sembradas.

Salmon llegó a la conclusión que con este abresurcos específico –del cual se sabe que crea un ambiente favorable para las semillas y las plántulas– las profundidades de siembra de 10 a 25 mm no tuvieron un efecto significativo sobre el recuento final de la emergencia de plántulas, pero redujeron sensiblemente la emergencia a profundidad cero y 50 mm. No hubo interacciones entre la profundidad de siembra y el tratamiento de semillas.

En sus experimentos Salmon no pudo probar los efectos del bajo vigor de las semillas, otras especies de *Brassica* y otros tipos de abresurcos para labranza cero. Es dudoso, sin embargo, que alguno de esos factores hubiera mejorado el rango de profundidades posibles, el cual ya fue considerado muy amplio en esos experimentos.

Uniformidad de la profundidad del abresurcos

Mantener una profundidad uniforme de siembra es una de las tareas más difíciles que, por varias razones, debe cumplir cualquier máquina para labranza cero, a saber:

- las superficies de los suelos sin labrar no se vuelven uniformes tan fácilmente como las de los suelos labrados;

- los suelos sin labrar a menudo son más duros que los suelos labrados y, por lo tanto, tienen un menor efecto de «colchón», especialmente a altas velocidades;
- los suelos más duros requieren una mayor fuerza de penetración para empujar los abresurcos dentro de la tierra y, por lo tanto, las variaciones de resistencia de la tierra dan lugar a mayores variaciones en la profundidad de siembra que los suelos blandos en los que se usan menores fuerzas de penetración;
- la dureza o resistencia de un suelo sin labrar por lo general varía a través de un campo como resultado de la formación natural de los suelos y la pulverización periódica de los mismos por medio de la labranza elimina esas diferencias de resistencia del suelo;
- los suelos en el sistema de labranza cero por lo general están cubiertos con residuos superficiales que pueden interferir con la capacidad del abresurcos para manejar el suelo debajo de los mismos y así acentuar la rugosidad de la superficie.

Cada uno de estos aspectos se considerará separadamente.

Seguimiento de la superficie

El control de la profundidad del abresurcos es parcialmente función del abresurcos y parcialmente función del soporte de la sembradora. En la labranza cero hay pocas oportunidades de nivelar el suelo antes de la siembra. Los abresurcos para labranza cero deben, por lo tanto, tener una mejor capacidad para seguir la superficie que los abresurcos para suelos labrados. Solamente la extensión del movimiento mecánico vertical se debería incrementar en aproximadamente ± 75 mm (total 150 mm) en suelos labrados hasta ± 250 mm (total 500 mm) en suelos sin labrar.

Aparatos para medir la profundidad

Una de las contribuciones importantes que hacen de los abresurcos para controlar la profundidad de siembra es la presencia o ausencia de aparatos para regular la profundidad (ruedas, deslizadores o bandas) que siguen las variaciones de la superficie del suelo. Las fuerzas de penetración requeridas son generalmente más altas en suelos sin labrar que en suelos labrados. Más aún, la resistencia del suelo es en general bastante uniforme a través de todo el campo como resultado del proceso de labranza mientras que la resistencia de los suelos en labranza cero varía metro a metro.

El resultado es que si un abresurcos confía solamente en la fuerza vertical de penetración alcanzando el equilibrio con la resistencia del suelo a la misma para mantener una profundidad de siembra constante, como ocurre comúnmente en los suelos labrados, la profundidad de siembra en los suelos sin labrar variará según la resistencia del suelo. Por lo tanto, cualquier abresurcos diseñado para operar a una profundidad constante en un suelo sin labrar necesitará un aparato para controlar la profundidad. Con un aparato de ese tipo, la fuerza de penetración puede ser aplicada en exceso, solo para llegar a la profundidad deseada en esa porción de suelo. La fuerza adicional es ejercida por el aparato regulador sin alterar materialmente la profundidad de siembra.

Los aparatos para regular la profundidad de los suelos sin labrar deben tener la capacidad de absorber variaciones bastante grandes de las fuerzas aplicadas para operar satisfactoriamente dentro de la variabilidad inherente de tales suelos. Afortunadamente, los suelos sin labrar también tienen una alta capacidad inherente para soportar cargas superficiales y evitar la formación de surcos.

Hay diferencias en la precisión de los aparatos para regular la profundidad según la cercanía del punto de entrega de la semilla del aparato medidor. Obviamente, cuanto más cercana

es esta posición, hay un control de profundidad más efectivo. La efectividad de este aparato puede ser afectada si está muy alejado de la zona de deposición de la semilla; por ejemplo, puede haber una pequeña prominencia cuando la semilla es liberada en un pequeño hueco.

A menudo hay limitaciones mecánicas para la ubicación del aparato regulador en un abresurcos en relación con el punto en que la semilla es finalmente depositada en el suelo. Probablemente, el modelo más cercano de cualquier diseño de abresurcos con el aparato regulador de profundidad, es aquel con los puntos de salida de las semillas en los cuales el aparato regulador opera (toca) junto a una rueda semineumática a lo largo de la base de un disco en el punto en que es liberada la semilla. La Lámina 45 muestra ese diseño.

Siempre que sea posible, es deseable combinar la función de regulación de la profundidad de las ruedas con la función adicional de cobertura y/o cierre de la ranura, pero sin que ninguna de ambas funciones se vea compro-

metida por los requerimientos de la otra. Las ruedas del aparato regulador en la versión de discos de los abresurcos de alas están localizadas muy cerca pero algo hacia atrás de la zona de eyección de las semillas de modo que pueden cumplir las dos funciones sin comprometer mutuamente su resultado (ver Lámina 25). Las ruedas en la Lámina 45 no cumplen la función de cierre de la ranura.

En casi todos los casos, los aparatos reguladores preferidos por los diseñadores son las ruedas, si bien los deslizadores y las bandas también son usadas en abresurcos más económicos. Los problemas con los deslizadores en la labranza cero surgen cuando recogen residuos y se bloquean y la mayor fuerza de penetración necesaria causa un alto desgaste a medida que se deslizan sobre la tierra.

Las bandas de profundidad algunas veces están unidas a discos para limitar su penetración; sin embargo, la profundidad de siembra no puede ser convenientemente ajustada para los distintos cultivos sin quitar la banda



Lámina 45 Ruedas para regular la profundidad colocadas a lo largo del punto de depósito de las semillas en abresurcos para labranza cero.

y reemplazarla por una banda de distinto diámetro. También tienden a acumular suelo en el punto de contacto entre la banda y el disco, lo que incrementa así efectivamente el diámetro de la banda y reduce la profundidad de siembra.

Las ruedas de los aparatos reguladores también tienen problemas. Dado que las ruedas pueden ser sostenidas solo por sus ejes, los diseñadores tienen que optar entre las desventajas de unir las detras del abresurco y las desventajas de colocarlas a sus lados donde podrían interferir con la separación de los residuos; además, es improbable que funcionen bien para cerrar las ranuras.

Dado que muchos abresurcos para labranza cero tienen como componente central un disco de algún tipo para manejar los residuos, la desventaja de colocar una rueda reguladora de la profundidad detras del abresurco también puede causar un nuevo problema adicional ya que la distancia de la zona de la semilla aumenta al menos en la medida del radio del disco. Consecuentemente, a pesar de sus ventajas para controlar la profundidad de siembra, muchos diseños de abresurcos para labranza cero no usan ningún tipo de rueda reguladora de profundidad. En el caso de los abresurcos que la utilizan, la mayoría están ubicadas a los lados del abresurco o en parte al lado y en parte detras del mismo.

Una complicación adicional surge cuando las ruedas reguladoras deben cumplir además la función de cubrir la ranura. Las ruedas que tienen solo la función de cubrir son llamadas «ruedas compresoras», aquellas que solo sirven para regular son las «ruedas reguladoras» y aquellas que cumplen ambas funciones son «ruedas reguladoras/compresoras».

Pocos abresurcos tienen ruedas reguladoras/compresoras. Una razón es que para un control preciso de la profundidad la rueda debería operar a lo largo de la zona de depósito de las semillas, mientras que para una compresión efectiva debería pasar detras del abresurco. Más aún, la rueda debe girar sin

dificultad en el suelo sin disturbar para mantener el control de profundidad mientras que, para una presión eficiente sobre la ranura, la rueda debería estar sobre suelo suelto sobre la ranura o en la ranura misma (ver Capítulo 5). Estos requerimientos aparentemente contradictorios a menudo llevan a colocar dos ruedas separadas o a relegar una de las funciones a fin de reducir el costo y favorecer la abertura de los residuos. En general, si las ruedas de los abresurcos son ayudadas por elásticos, muy probablemente sean compresoras y no reguladoras.

La rueda en el abresurco de la Lámina 45 es solamente una rueda reguladora. Una rueda compresora más pequeña se aprecia operando en ángulo detras del disco.

Un ejemplo de ruedas combinadas compresoras/reguladoras se encuentra en la Lámina 25 donde se aprecian dos ruedas en cada lado del disco central y ligeramente detras de la zona de las semillas. Las ruedas son lo suficientemente anchas como para trabajar en un suelo sin disturbar a lo largo del abresurco (función de rueda reguladora) pero también están anguladas, de modo que doblan residuos y suelo sobre la ranura en forma de T invertida en forma ligera (función de rueda compresora). Las ranuras en forma de T invertida no requieren compresión de la semilla dentro de la ranura de modo que no hay desventajas al comprimir desde la parte superior de la ranura cubierta (ver Capítulo 6). La función de control de profundidad de este abresurco es ligeramente afectada porque las ruedas no están ubicadas exactamente en el punto de entrega de las semillas; con este abresurco se emplean otros sistemas que compensan esta dificultad.

El valor de las ruedas semineumáticas

Es necesario reconocer el valor de las ruedas semineumáticas que se usan en las ruedas compresoras y en las ruedas reguladoras más modernas. Este invento, a menudo poco apre-

ciado, es uno de los agregados más exitosos a la maquinaria agrícola. Antes de su invención, todas las ruedas reguladoras/compresoras eran rígidas, o al menos de goma maciza, plástico o gomas completamente infladas.

Dado que la presión de las ruedas sobre las sembradoras se ejerce, casi invariablemente y por lo menos en parte, sobre una zona de suelo sin disturbar; incluso en el caso de labranza cero, están muy propensas a acumular barro en condiciones húmedas. Las ruedas infladas a presión normal y las ruedas rígidas no se flexionan suficientemente para provocar el desprendimiento del barro. Algunas situaciones de labranza cero pueden requerir considerable presión hacia abajo para que haya una flexión limitada de las gomas completamente infladas.

Fue necesario encontrar un método para combinar la flexibilidad y al mismo tiempo mantener la precisión del aparato regulador del radio de la rueda: tenía que ser flexible pero aun así retener un radio predecible de carga, sin considerar la carga en el mismo. Es en este caso es en el que sobresalen las ruedas semineumáticas. Si bien estas son huecas (en secciones de numerosas formas) no hay presión de aire en su interior. Es más, muchas tienen una pequeña válvula de purga de modo que el aire no quede encerrado permanentemente. La distancia entre la pared externa y la pared interna (contra el aro) es relativamente pequeña. Cuando está trabajando, la rueda toca el suelo, la pared externa cede temporalmente y se comprime contra la pared interna y, por lo tanto, contra el aro. A medida que la rueda abandona el suelo, su resiliencia causa que la pared externa vuelva a su posición original. En este movimiento, la pared externa continuamente se flexiona hacia adentro y hacia afuera, lo cual hace caer el barro adherido. El radio de operación sigue siendo predecible siempre que haya suficiente fuerza aplicada para hacer ceder la pared externa contra la pared interna y el aro en la zona de contacto con el suelo.

Soporte flotante

Otro elemento que se puede agregar a los abresurcos para labranza cero es un soporte flotante para montar las ruedas reguladoras; consiste de un par de ruedas que pueden moverse independientemente en forma vertical mientras continúan ejerciendo conjuntamente la presión. Son sistemas de palancas mecánicas simples con al menos dos ruedas medidoras. Una unión simple con un eje central une la horquilla que sostiene las dos ruedas en forma pivotante. Las dos ruedas encuentran su posición de trabajo al igualar las fuerzas de contacto con el suelo alrededor del soporte flotante. La posición de las dos ruedas reguladoras cambia constantemente a medida que cada rueda en su giro encuentra cambios en la superficie del suelo: cuando una rueda se mueve hacia arriba la otra rueda se mueve hacia abajo.

Esta solución se basa en que cada rueda, cuando encuentra una pequeña elevación o un pequeño hueco, fuerza a todo el abresurco a caer o subir solamente la mitad del desnivel. De esta manera, la rugosidad de una superficie es reducida a la mitad; este es un elemento importante para la labranza cero ya que este sistema de labranza no prevé la uniformización o nivelación del terreno.

La Lámina 46 muestra un soporte flotante para un par de ruedas reguladoras.

Semillas expulsadas por los discos

La tendencia de los dobles discos a hacer saltar las semillas fuera de la tierra ocurre cuando las semillas quedan atrapadas entre los dos discos o cerca del punto en que estos tocan la tierra. A cierta velocidad, los discos se alejan de este punto y atrapan semillas, lo que es seguido por una violenta liberación de las mismas, hacia arriba y hacia atrás, fuera de la ranura.

El problema se supera dejando caer las semillas detrás de la zona de contacto y/o inser-



Lámina 46 Soporte flotante para igualar la carga de dos ruedas reguladoras independientes.

tando platos de cobertura en la zona entre los dos discos y sus bordes posteriores.

En todos los abresurcos de discos y en los suelos adherentes, por lo menos una de las superficies del disco tendrá material adherido. Las semillas pueden adherirse al disco y ser levantadas de la ranura o el suelo o se pueden adherir al disco que arrastra consigo las semillas.

Con los abresurcos de doble disco, la semilla es liberada contra las superficies internas de los discos que no están en contacto con el suelo. De esta manera, las semillas raramente se adhieren a los discos pero la adherencia del suelo en la parte exterior de los discos puede cortar la integridad de la ranura y arrastrar fuera de la misma semillas que ya han sido depositadas en ella (ver Lámina 47).

Con los discos angulados, el lado del disco junto a la semilla está bastante protegido del

contacto con el suelo, lo cual ayuda a que las semillas se adhieran directamente al disco.

El abresurco de ala con discos tiene unos raspadores especiales subsuperficiales diseñados para despejar debajo de la tierra las semillas adheridas al disco (Thompson, 1993; Lámina 25).

Disturbio del suelo

Con la mayoría de los abridores de discos, incluso cuando operan en suelos no adherentes, ocurre un cierto disturbio del suelo a medida que el disco abandona la parte más baja de su rotación. Esto también ocurre con los abresurcos de tipo azada a medida que el vástago rígido avanza en el suelo. Si bien las semillas pueden no saltar con este movimiento, es posible que las mismas se redistribuyan de modo que ocupen dentro del perfil del suelo posiciones verticales más al azar de lo esperado.

Con algunos de los abresurcos movidos por la toma de fuerza, el suelo es deliberadamente disturbado y la semilla depositada en el área del rotor mientras se forma la ranura y se mezcla groseramente la semilla con el suelo. Esta operación indudablemente satisface los objetivos establecidos, pero la variación en la profundidad de colocación de cada semilla no contribuye a la uniformidad de la germinación, la emergencia y la madurez del cultivo.

Apretado o clavado de los residuos

La tendencia de los discos de cualquier configuración a envolver los residuos en la ranura sin realmente cortarlos a menudo deja las semillas encastradas en ellos en lugar de colocarlas en el suelo. Muchas poblaciones pobres de plantas en labranza cero se deben a su colocación en un ambiente hostil creado por los residuos apretados dentro de la ranura para las semillas. Esto ocurre tanto con residuos húmedos como secos, si bien las causas del problema son diferentes en ambos casos.

Con residuos duros y resilientes como la paja de maíz, el residuo puede rápidamente volver a la posición vertical después del paso del disco en cuyo caso puede hacer saltar semillas fuera de la ranura. La Lámina 47 muestra una semilla de soja (*Glycine max*) que ha salido completamente de la ranura hecha saltar por un tallo de maíz después del pasaje de un abresurco vertical de doble disco.

Pero aun en el caso de que las semillas no salten cuando están apretadas con los residuos secos, no habrá un efectivo contacto semilla-suelo; esto afecta la imbibición de la semilla y su germinación. En los suelos húmedos, los ácidos grasos, que son producto de la descomposición de los residuos, causan la muerte de las semillas y las plántulas (ver Capítulos 6 y 7).

Rebote de los abresurcos

Los abresurcos de tipo azada y los de ala simple que operan bajo considerable fuerza

vertical de penetración a menudo rebotan, en respuesta a las variaciones de la resistencia del suelo, especialmente a altas velocidades, lo que afecta a la precisión de la eyección de las semillas al suelo.

Los abresurcos de disco también son afectados por este problema. Cualquier abresurco puede dejar las semillas en la superficie después de encontrar piedras en el suelo. Los abresurcos de tipo azada tienden a empujar las piedras a un lado o a hacerlas saltar fuera de la tierra mientras que los abresurcos de disco tienden a levantarse por encima de las piedras, y depositan las semillas sobre la superficie de la tierra.

Rebote de las semillas

Como resultado de las altas velocidades de operación y de la siembra en suelos secos con terrones, las semillas grandes a menudo rebotan al contacto con el suelo. En los casos más severos las semillas salen fuera de la ranura.



Lámina 47 Una semilla de soja (centro) que ha saltado completamente fuera de la ranura para labranza cero en un ranura hecha por un abresurco de doble disco (de Baker, 1981a, b).

El problema se acentúa con algunos sistemas neumáticos de entrega de las semillas cuando su velocidad es excesiva, la cual, combinada con una alta velocidad de avance del abresurco, puede causar importantes problemas de rebote de las semillas.

Cierre de las ranuras

Los problemas como el rebote de las semillas pueden ser superados si el abresurco cierra el surco automáticamente e inmediatamente después de que este ha sido abierto para recibir la semilla. Algunos abresurcos de ala, abresurcos de doble disco inclinados y abresurcos movidos por la toma de fuerza son ejemplos de abresurcos con buena capacidad de cierre automático.

Funciones de la sembradora y de la sembradora de precisión

Mecanismos de penetración vertical

Los mecanismos más comunes de penetración vertical para las sembradoras convencionales y las sembradoras de precisión son los resortes o muelles. Sin embargo, presentan el inconveniente de que los resortes cambian sus fuerzas de carga según una relación lineal con su largo (o sea, cambian su fuerza en la misma proporción que cambia su largo). Esto podría ser aceptable para suelos labrados porque: i) las cargas aplicadas a los resortes son relativamente pequeñas y los resortes no están completamente comprimidos; ii) las variaciones en la superficie del suelo y, por lo tanto, en el largo de los resortes, son relativamente pequeñas, y iii) los resortes son relativamente económicos y no presentan mayores problemas.

Para las camas de semillas en el sistema de labranza cero, los casos son opuestos: i) la carga de los resortes es alta; ii) los cambios en la uniformidad de la superficie del suelo pueden ser importantes, y iii) las sembradoras para

labranza cero por lo general son más robustas y costosas. Dado que las cargas de los resortes son altas, las sembradoras para labranza cero por lo general tienden a usar resortes fuertes, de poca respuesta y de una sección menor, o resortes más largos pero comprimidos a distancias más cortas. Como los cambios en las fuerzas de los resortes están relacionados con el largo del resorte comprimido en ese momento, el hecho de tener un resorte comprimido a una corta distancia para obtener la penetración del abresurco magnifica los cambios de fuerzas relacionados con los cambios en el largo. Por esta razón, algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero son diseñadas con resortes muy largos (Lámina 48) o, como alternativa, los resortes son colocados cerca de los puntos pivotantes de los brazos de modo que minimicen los cambios de dimensión.

La relación de fuerzas con el largo de los resortes se aplica igualmente si los resortes están colocados para trabajar en tensión o en compresión. Por razones de compactación, unas pocas sembradoras y sembradoras de precisión usan resortes que actúan en tensión.

De cualquier manera, con el sistema de resortes es virtualmente imposible mantener una fuerza vertical constante. Se han hecho varios diseños innovadores con el objetivo de reducir los problemas de los resortes. Algunos de estos se ilustran en las Láminas 49 y 50. En la Lámina 49 los resortes mecánicos han sido reemplazados con amortiguadores de goma que actúan muy cerca del pivote (fulcro) de los brazos para reducir el recorrido necesario de los resortes en cualquier cambio de posición. Los amortiguadores de goma actúan en la misma forma que los resortes de acero en relación con la fuerza que estos ejercen en relación a los cambios de su longitud comprimida. Sin embargo, los problemas de la goma expuesta en forma continuada a la luz ultravioleta y su retención de «memoria» después de un largo período de compresión no favorecen esta elección.

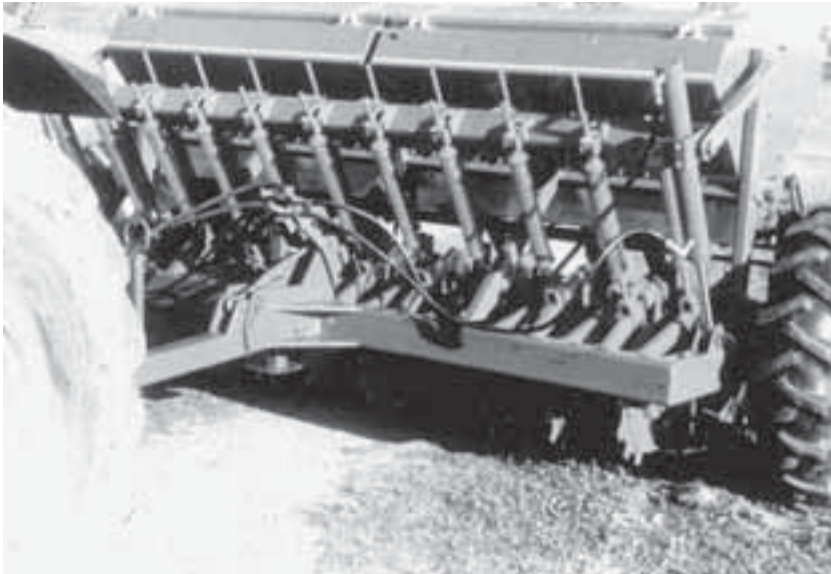


Lámina 48 Resortes de compresión larga en una sembradora para labranza cero.

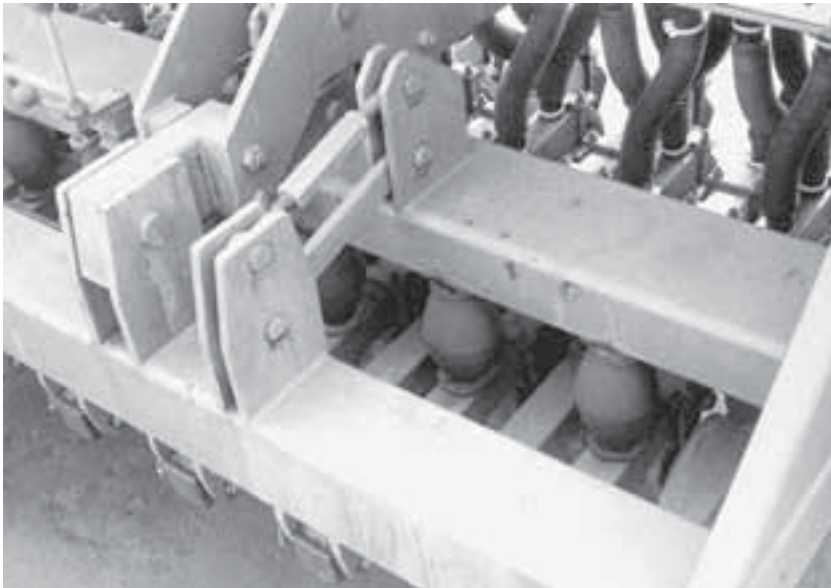


Lámina 49 Abresurcos para labranza cero comprimidos contra el suelo con amortiguadores de goma que actúan cerca del fulcro del brazo.

En la Lámina 50, los diseñadores han intentado igualar las fuerzas de los resortes a lo

largo de la sembradora, para acomodar, por ejemplo, el paso de una prominencia en un



Lámina 50 Sembradora para labranza cero con un arreglo para «igualar» los resortes.

lado de la sembradora, dividiendo la barra que comprime los resortes en piezas articuladas más cortas. El efecto es similar a los soportes flotantes descritos anteriormente para las ruedas compresoras.

Otra forma de superar las desventajas de los resortes para la aplicación de la fuerza vertical es por medio de ruedas compresoras muy anchas y aplicar una fuerza vertical grande a fin de asegurar que la fuerza del resorte sea suficientemente grande para permitir el estirado de los resortes en los huecos más profundos que puedan encontrar los abresurcos.

La Lámina 22 ilustra un diseño opuesto. En este caso, el recorrido vertical total del abresurcos ha sido limitado por medio de dientes elásticos que se mueven sobre todo horizontalmente (hacia atrás) en respuesta a las fuerzas de carga. La capacidad de seguir la forma de la superficie de la tierra de estas sembradoras es pobre y su uso se limita a campos relativamente nivelados y/o a semillas muy tolerantes a la profundidad.

Sin considerar los puntos señalados anteriormente, los resortes son generalmente una

forma insatisfactoria pero común de aplicar fuerzas verticales a los abresurcos para labranza cero. Los problemas característicos pueden ser vistos regularmente en el campo como una siembra excesivamente superficial a través de los huecos y demasiado profunda en las elevaciones del terreno, lo cual conduce a una emergencia pobre en ambos casos. La Lámina 51 muestra el recorrido de un abresurco para labranza cero con buena capacidad para seguir la superficie del terreno. Lamentablemente, no todas las sembradoras para labranza cero pueden obtener este resultado de seguimiento de la superficie.

Aire comprimido

Afortunadamente existen alternativas a los resortes. Los dos métodos más útiles hasta el momento han sido la presión de aire y la presión de aceite (o hidráulica) que actúa por medio de émbolos o cilindros (Morrison, 1988a, b). La opción con presión de aire usa grandes volúmenes de aire que actúan sobre cilindros de gran diámetro adjuntos a los brazos. Dado

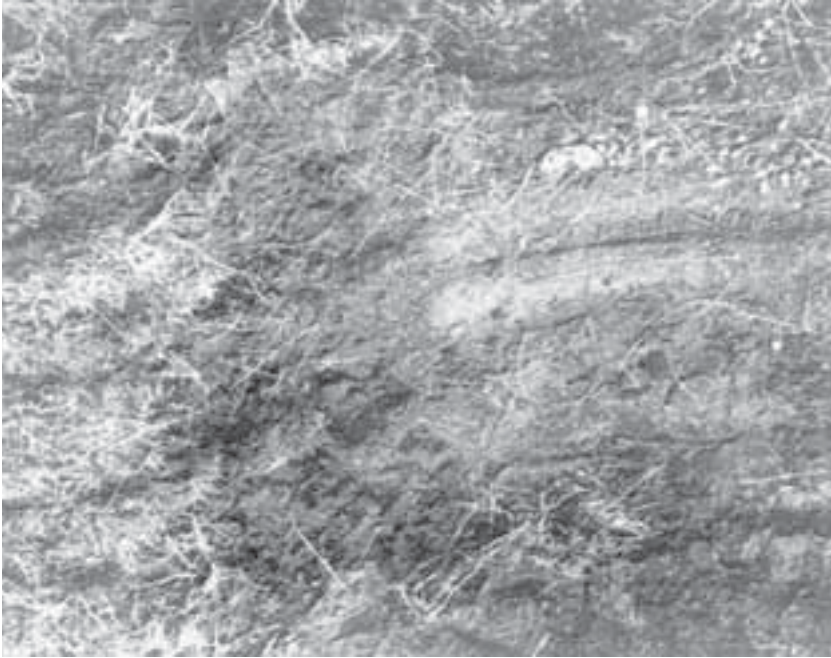


Lámina 51 Ejemplo de un excelente seguimiento de la superficie a través de un hueco por un abresurco para labranza cero (fuerza de penetración gas-aceite).

que es difícil comprimir aire a presiones suficientemente altas como para permitir el uso de cilindros de diámetro pequeño, hay límites para la fuerza que es posible obtener con aire comprimido.

Por otro lado, el aire no tiene costo y puede ser comprimido en grandes volúmenes con el resultado que los cambios en volumen que resultan del movimiento hacia arriba y abajo pueden ser diseñados para que tengan un efecto mínimo sobre la magnitud de las fuerzas de penetración. Se debe recordar que cualquier gas bajo presión tiene las mismas características de los resortes mecánicos. A cualquier temperatura dada, un cambio en el volumen del gas comprimido será proporcionalmente lineal a la presión. Sin embargo, en el caso del aire, el volumen puede ser tan grande que los cambios de presión con el movimiento de los abresurcos pueden ser minimizados.

Las mayores desventajas del uso directo del aire comprimido son la cantidad limitada de presión que se puede obtener prácticamente ya que el oxígeno del aire sometido a alta presión puede ser explosivo y que los cilindros de alta presión necesitan una lubricación independiente, lo cual es un problema en un sistema semiestático como este. La lubricación es más fácil en el caso de que se use un flujo continuo de aire comprimido, tal como ocurre con otras herramientas. En este caso el aire comprimido está contenido en un sistema cerrado y, por lo tanto, la lubricación es dificultosa.

Sistemas gas-aceite

Una opción más práctica ha sido el uso de aceite en el sistema hidráulico en equilibrio con un gas inerte (no explosivo), por lo general nitrógeno contenido en uno o más acumuladores. Esto se conoce como «gas sobre aceite», «aceite sobre gas» o sistema «hidráulico amor-

tiguado por aceite». El volumen del gas en el(los) acumulador(es), cuando el sistema está en su(s) presión(ones) de operación, debe ser lo suficientemente grande como para reducir al mínimo los cambios de presión que resultan de los cambios en la posición del abresurcos.

En realidad, si los cilindros hidráulicos en todos los abresurcos están conectados en común (en paralelo) al sistema hidráulico, cuando un abresurcos se levanta en respuesta a un levantamiento en la superficie del terreno, es posible que otro abresurcos esté cayendo en respuesta a un hundimiento del terreno en otro lado de la barra de la sembradora. De esta manera, los dos abresurcos simplemente intercambian el aceite entre ellos sin afectar mayormente el volumen total de aceite o presión del sistema.

Por esta razón es muy reducida la necesidad de grandes cambios volumétricos en el sistema hidráulico en su conjunto. En contraste, los resortes mecánicos trabajan solo sobre los abresurcos individuales excepto cuando se utiliza un enlace complejo para obtener una acción combinada, como se ilustra en la Lámina 50.

Otra ventaja del sistema gas-aceite es que si los cilindros hidráulicos son del tipo de doble acción (o sea que pueden trabajar en ambas direcciones), estos cilindros con acción de penetración vertical también pueden ser usados para levantar los abresurcos para el transporte. Esto elimina la necesidad de un aparato separado para levantar la sembradora o la sembradora de precisión.

La mayor ventaja de cualquier sistema gas-aceite o de cilindros de aire es que puede ser ajustado de tal modo que la fuerza de penetración vertical permanece virtualmente sin cambio en todo el recorrido del abresurco hacia arriba y hacia abajo ya que la fuerza ejercida por los cilindros permanece constante durante todo el recorrido del émbolo. Esto, a su vez, permite diseñar un mayor recorrido vertical de los abresurcos para seguir la superficie y el control de profundidad.

La Lámina 52 muestra una sembradora para labranza cero con un sistema gas-aceite de fuerzas de penetración que siembra a la misma profundidad sobre el dique de una represa para riego o en una superficie plana a su lado



Lámina 52 Ilustración de la extraordinaria capacidad para seguir la superficie de un abresurcos con sistema gas-aceite para penetración vertical en una siembra para labranza cero.

e incluso en parte sobre la ladera. Las sembradoras para labranza convencional nunca deben cumplir el trabajo de estos abresurcos y muchas máquinas sembradoras simples son incapaces de hacerlo.

Control automático de la fuerza de penetración

Otro mejoramiento del sistema gas-aceite es equipar la sembradora o la sembradora de precisión con un sensor que mide la dureza del suelo a medida que avanza el abresurco. Esta señal es transmitida a las válvulas hidráulicas de modo que a medida que cambia la dureza del suelo —que altera la profundidad de penetración del abresurco— la presión del aceite es automáticamente ajustada para asegurar que el abresurco tenga fuerza de penetración para mantener correctamente la profundidad de siembra en cada metro del terreno. Este mejoramiento proporciona una capacidad de control de profundidad de siembra superior a cualquier otra tecnología disponible.

Pesas

Una interpretación del problema sugiere que agregar pesas a los abresurcos individuales sería una forma efectiva para asegurar que cada abresurco ejerciera la misma fuerza de penetración en todos sus movimientos. Sin embargo, la adición o remoción de pesas individuales a múltiples abresurcos de una sembradora no es una operación práctica y requeriría que un operador llevara pesas en el campo para cambiar las fuerzas de penetración y adaptarlas a las nuevas condiciones. Además, el cambio de la fuerza de penetración con la máquina en movimiento no es práctico y, una vez más, el sistema más evolucionado gas-aceite con control automático de la fuerza de penetración realiza esta operación en forma más eficiente.

Otro inconveniente del uso de pesas es que cuando un abresurco se levanta o se baja, la inercia de las pesas altera la fuerza efectiva

de penetración; esta inercia es altamente dependiente de la velocidad de avance de la máquina, la cual a su vez determina la velocidad de levante y caída. Es necesario recordar que la inercia es proporcional al cuadrado de la velocidad en la dirección del movimiento.

Las pesas se usan más en las sembradoras para un solo surco ya que muchas de las desventajas citadas líneas arriba se aplican sobre todo a los abresurcos múltiples en las sembradoras grandes y las pesas a menudo son de bajo costo y más efectivas cuando hay escasez de fondos (ver Capítulo 14).

Diseño de la barra de arrastre

El diseño y la configuración de la barra de arrastre que une el abresurco al marco de la máquina son elementos importantes de las sembradoras de precisión en las cuales es más importante la colocación de las semillas. Se ha diseñado una sembradora que tiene una barra de arrastre pivotante unida al marco de la sembradora o de la sembradora de precisión para mover los abresurcos hacia arriba o abajo y ajustarse a los cambios de la superficie del suelo. Este movimiento es proporcionado por una bisagra unida al marco de la sembradora o por la flexión de los brazos de la barra.

En el caso de los brazos flexibles, todo el brazo de arrastre debe ser construido de acero elástico. Las ventajas consisten en que este sistema elimina el desgaste de las juntas, las cuales, bajo las fuertes fuerzas necesarias para la labranza cero, pueden convertirse en un problema de mantenimiento. En primer lugar, tal tipo de máquina debe estar para enfrentar las desventajas de usar resortes mecánicos en el sistema de las fuerzas de penetración y, en segundo lugar, existe la dificultad de prevenir que el abresurco se flexione hacia los lados, lo que interfiere con un preciso espaciamiento de los surcos.

Con los brazos totalmente articulados (con bisagras), la presentación más común de las sembradoras convencionales es usar un solo brazo

pivotante en una junta simple sin lubricar como se aprecia en la Figura 23. Dada la fuerza necesaria para arrastrar los abresurcos y para la penetración en el suelo, hay grandes fuerzas que actúan sobre el pivote, especialmente si el origen de la fuerza de penetración se encuentra cerca del mismo pivote. Como resultado, hay un considerable desgaste dentro de los mecanismos pivotantes.

Este es un problema importante que se encuentra en muchas máquinas para labranza cero técnicamente avanzadas. Las nuevas máquinas son aparentemente de un diseño perfecto. Sin embargo, a medida que la junta del pivote se desgasta, tales máquinas ofrecen escasa precisión para la siembra y se deben reparar, lo cual implica costos imprevistos para toda la actividad.

Las máquinas para labranza cero más avanzadas tienen pivotes lubricados y cojinetes sellados o con forros de metal para trabajo pesado. Esto aumenta el precio inicial de la máquina pero puede alargar la vida del equipo casi al nivel de los tractores que las arrastran.

Uniones paralelas

Para asegurar un funcionamiento correcto algunos abresurcos para labranza cero deben ser mantenidos a un ángulo establecido con la horizontal en la dirección de avance. Los abresurcos de alas son un caso especial; estos abresurcos a menudo emplean dos brazos de arrastre (superior e inferior) colocados en posición de paralelogramo de tal manera que el ángulo horizontal del abresurcos permanece sin cambios durante todo el movimiento vertical.

Las desventajas de tal sistema son el costo de los brazos y los pivotes y el hecho de que cuatro pivotes tienen un mayor potencial para crear inestabilidad diagonal, si uno o dos pivotes se desgastan. Para compensar, los brazos de arrastre en posición de paralelogramo son normalmente más anchos y robustos que los brazos de arrastre simples y utilizan forros de metal o cojinetes de mejor calidad en los pivotes. Indudablemente, son una evolución en el perfeccionamiento de la colocación de la semilla en la siembra de precisión para labranza cero, pero hasta la fecha han sido incluidos solamente en diseños avanzados de sembradoras y de sembradoras de precisión.

La Lámina 53 muestra un abresurcos para labranza cero montado en brazos de arrastre en posición de paralelogramo y el excelente rango de movimiento proporcionado por el sistema de penetración vertical de gas-aceite. Es difícil ver el cilindro hidráulico pero puede ser ubicado desde la posición de los tubos de descarga (arriba, derecha).

Una variación en los brazos de arrastre en posición de paralelogramo ha sido deliberadamente diseñada en forma imperfecta (por ej., un trapecio). Este diseño se aplica a los abresurcos de ala que son empujados dentro de la tierra por medio de resortes mecánicos (Lámina 54). El objetivo es invertir los cambios geométricos que ocurren con los brazos de arrastre de un solo pivote en los cuales el ángulo de las alas normalmente se reduce en los huecos y aumenta en las irregularidades del terreno. Por lo general, el efecto es que se acentúa el cambio en las fuerzas de los resor-

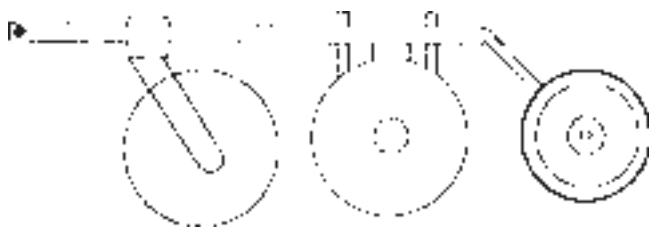


Figura 23 Brazo de arrastre de un solo pivote (ligeramente modificado de Baumer et al., 1994).

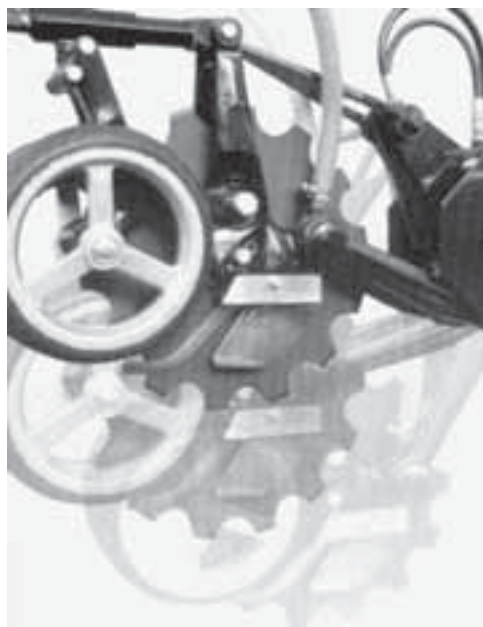


Lámina 53 Abresurcos de ala para labranza cero montado en brazos en forma de paralelogramo y empujado hacia abajo con un sistema gas-aceite, que muestra su excelente rango de movimiento vertical, importante en la labranza cero.

tes mecánicos, que hacen entrar más las alas en las prominencias de la tierra que en los huecos. Sin embargo, en este diseño el ángulo del ala se incrementa cuando los abresurcos están en los huecos y decrece cuando pasan sobre las prominencias. Dado que el ángulo más agudo ayuda al abresurcos a entrar en la tierra, este sistema contrarresta en parte las desventajas de las fuerzas de penetración variables de los resortes mecánicos.

Comparaciones

Los autores compararon la capacidad de dos abresurcos diferentes para labranza cero (ambos con sistemas de penetración vertical gas-aceite) respecto a su capacidad para ignorar irregularidades de la superficie (Baker y Saxton, 1988). Se usaron tres tipos de herra-

mientas de labranza para causar las irregularidades de la superficie en un suelo nivelado, sin labrar, que había sido sometido a barbecho químico. Los tratamientos de rugosidad fueron: i) arado de cincel a distancia de 380 mm y profundidad de 200 mm, que dejó la terminación más gruesa; ii) cultivado con abresurcos de pata de ganso a 250 mm de distancia y 100 mm de profundidad (segundo grosor de terminación); iii) un paso de discos con una rastra pesada de doble disco (la siguiente terminación), y iv) ningún tipo de labranza, que presentó una superficie lisa. Las sembradoras usadas en los diagramas se conocen como «*Cross Slot*» (abresurcos de ala con disco que crean ranuras en forma de T invertida) y «*Double Disc*» (abresurcos verticales de doble disco que crean ranuras en forma de V).

Las poblaciones de plantas de las dos sembradoras y los cuatro tratamientos de superficie se encuentran en la Figura 24 y los rendimientos resultantes de trigo de invierno se encuentran en la Figura 25. La sembradora «*Cross Slot*» produjo un mayor número de plantas y rendimiento que la sembradora «*Double disc*» para todas las superficies, pero significativamente mayor en las superficies más rugosas. La sembradora más pesada «*Double Disc*» tuvo dificultades para mantener el control de profundidad en las superficies labradas más sueltas y rugosas. La superficie con labranza cero fue fácilmente penetrada por las dos sembradoras, pero los abresurcos de doble disco apretaron considerablemente los residuos en la ranura de las semillas lo cual probablemente contribuyó a los estándares más bajos con esa sembradora en las condiciones de siembra muy secas (ver Capítulos 6 y 10).

Entrega y distanciamiento de las semillas

En el caso de las semillas pequeñas sembradas sobre la base de su masa, como las gramíneas y leguminosas forrajeras, los rábanos

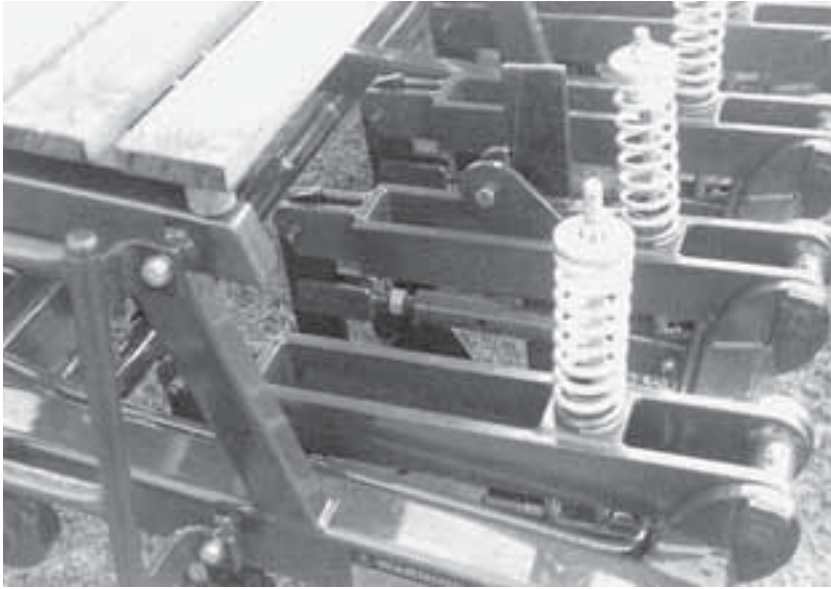


Lámina 54 Abresurcos para labranza cero en el cual se usa una unión «paralela» deliberadamente imperfecta (trapecio).

y los granos finos, los aparatos para contar las semillas son diseñados para distribuir las en un chorro continuo y en ningún caso sembrarlas en forma individual o separadamente. Como resultado, esa masa de semillas no es mayormente afectada por la longitud o la forma de los tubos de entrega que transportan las semillas desde el cajón sembrador hasta el

abresurcos, siempre y cuando haya suficiente pendiente en los tubos a fin de que la gravedad mantenga el chorro de semillas en movimiento o que sean movidas por una corriente de aire. La entrega por gravedad puede ser un problema cuando se siembra en laderas hacia arriba y abajo de la pendiente o cuando los tubos para las semillas se achatan para permi-

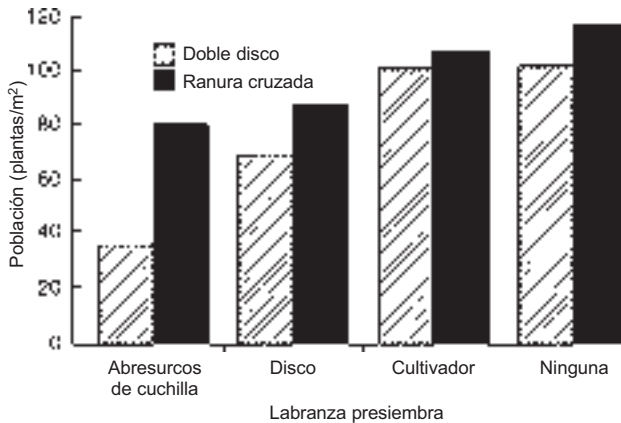


Figura 24 Efectos de la rugosidad superficial sobre la emergencia de las plántulas de trigo, usando dos sembradoras diferentes (Baker y Saxton, 1988).

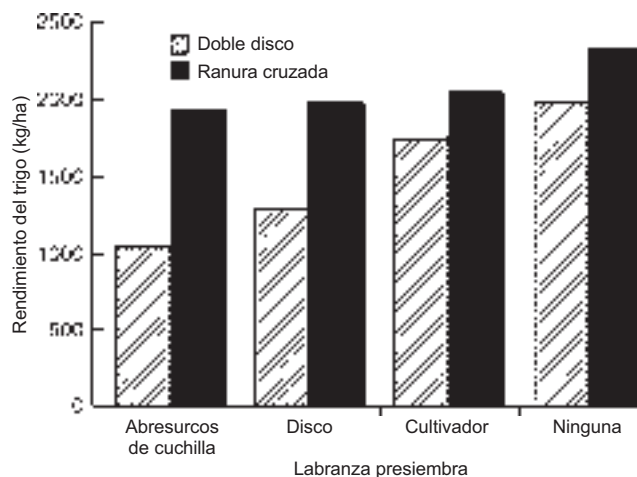


Figura 25 Efectos de la rugosidad superficial sobre los rendimientos de trigo, usando dos sembradoras diferentes (Baker y Saxton, 1988).

tir el pasaje fluido de las semillas. Con los sembradores por aire forzado que sustituyen el flujo por gravedad, el flujo de aire transporta las semillas en forma constante a los abresurcos y la gravedad tiene una función secundaria.

El distanciamiento y la entrega de las semillas son, por lo general, similares en las sembradoras para labranza cero que en las sembradoras para labranza común, con muy pocas diferencias. Los mecanismos de distanciamiento de las semillas y los tubos de entrega pueden ser comunes a ambos; sin embargo, los abresurcos de las sembradoras para labranza cero a menudo están más separados para apartar los residuos y su recorrido vertical puede ser mayor que para los suelos labrados. Como resultado, los tubos de entrega de las semillas pueden ser más largos y tener un recorrido mayor desde las cajas medidoras a los abresurcos por lo cual pueden quedar a un ángulo más llano. La compensación por esta pérdida de caída puede ser hecha alzando las tolvas para semillas en la sembradora o por el uso de varios conjuntos de tolvas para semillas. La entrega con aire forzado es una opción atractiva dado que la caída gravitacional es así ayudada por el flujo del aire (ver Capítulo 13). Un ejemplo de una sembradora avanzada para labranza

cero con entrega por aire de semillas y fertilizantes se encuentra en la Lámina 55.

Las sembradoras de precisión que toman las semillas individualmente a intervalos regulares, tales como maíz, algodón, remolacha y las sembradoras de precisión para hortalizas enfrentan una situación diferente. Ritchie (1982) y Carter (1986) mostraron que una vez que una sola semilla es liberada en el tubo por el mecanismo de entrega, su movimiento en el tubo puede ser algo al azar: tendrá tendencia a rebotar de una pared a otra y en cada rebote perderá una parte impredecible de su velocidad de caída. Por lo tanto, las semillas raramente llegan a su destino a exactamente los mismos intervalos a los que fueron liberadas por el mecanismo regulador.

Aun en el caso de que un mecanismo regulador de precisión tome las semillas a intervalos precisos, la precisión de los intervalos a los cuales las semillas llegan consecutivamente al suelo depende del recorrido que cada una de ellas sigue después de dejar el mecanismo regulador. Incluso, es posible que una semilla siga una ruta más directa que la que la antecede y llegue antes que la precedente porque esta entró en una serie de rebotes dentro del mismo tubo.

Por esta razón, los mecanismos de regulación en los suelos labrados están colocados



Lámina 55 Diseño avanzado de sembradora por aire para labranza cero.

tan cerca del suelo como sea posible de modo que las semillas tengan solo una pequeña caída, a menudo sin tocar las paredes de los tubos. Por lo general la distancia de caída es de cerca de 50 mm y a menudo es aun menor. Este enfoque de caída libre es posible solamente en los suelos labrados ya que no tienen residuos superficiales, están nivelados y la tierra está refinada lo que permite que los mecanismos masivos de siembra pasen cerca de la superficie de la tierra sin el riesgo de bloquearse o de daños.

Sin embargo, en la labranza cero, los residuos superficiales a menudo sobresalen 300-500 mm sobre la superficie de la tierra, son variables en su naturaleza y extensión y, en algunos casos, son algo leñosos. En estos casos es necesaria una cierta separación vertical para evitar el bloqueo. Más aun, hay poca o ninguna oportunidad para nivelar la superficie del suelo. Por esta razón, los abresurcos para labranza cero son más grandes y más fuertes que los abresurcos para labranza común y los mecanismos regula-

dores operan a una mayor altura sobre el nivel del suelo. En estos casos, algún tipo de semillas es entregado por el mecanismo regulador a 600 mm de distancia.

En esas distancias, la caída libre de las semillas no es una opción para la labranza cero a causa de los efectos del viento, la pendiente y los movimientos de la máquina.

El resultado es que, si bien se usan los mismos mecanismos de regulación para las sembradoras de precisión de labranza convencional y de labranza cero, y en ambos casos el mismo número de semillas debe llegar a la tierra en una determinada longitud de surco, el espaciamiento preciso entre las semillas individuales es más difícil de obtener bajo labranza cero que en la labranza convencional.

El rebote del abresurco es probable que sea mayor en la labranza cero. En el año 2004 se informó de algunos intentos para calificar los efectos de los rebotes del abresurcos (Anónimo, 2004). Con las pruebas se encontró que cuatro sembradoras convencionales de preci-

sión al vacío con aparatos reguladores de origen europeo fueron afectadas adversamente por el cambio de una superficie labrada a una superficie para labranza cero y que los efectos adversos se incrementaron al aumentar la velocidad de avance.

El problema principal es si continuará el debate para aclarar si esas fuentes de imprecisión tienen un efecto medible en el rendimiento final en el caso de plantas grandes de crecimiento compensatorio tales como el maíz (por ej., hay una creciente evidencia de que la profundidad de la siembra de precisión puede ser más importante que la precisión del espaciamiento debido a la competencia entre plantas); sin embargo, el espaciamiento de precisión es un elemento importante para la comercialización de las máquinas diseñadas para labranza común. Desde el momento que no existen inconvenientes de tipo agronómico para el espaciamiento preciso, es razonable que los diseñadores de sembradoras de precisión intenten duplicar esos niveles de precisión en el espaciamiento si desean persuadir a los agricultores del cambio de labranza convencional a labranza cero.

Resumen de profundidad, colocación y distanciamiento de las semillas

1. La emergencia de las plántulas de trigo en la labranza cero puede declinar aproximadamente un 4 por ciento por cada 10 mm de incremento de la profundidad de siembra por debajo de 20 mm y aún más después de 50 mm.
2. La emergencia de las plántulas de lupino en la labranza cero puede disminuir aproximadamente un 17 por ciento para 10 mm de incremento de la profundidad de siembra por debajo de 20 mm.
3. La emergencia de las plántulas de trébol rojo declina sensiblemente a profundidades de siembra por encima y debajo de 10-15 mm.
4. La capacidad de los abresurcos para labranza cero para mantener una profundidad de siembra constante es muy importante pero requiere un alto aporte de energía.
5. La tierra más dura, las superficies más rugosas y la presencia de residuos superficiales acentúan el desafío del control de profundidad para labranza cero.
6. Dadas las grandes fuerzas de penetración de los abresurcos requeridas para la labranza cero, el control de la profundidad de siembra a menudo usa una o más ruedas reguladoras en cada abresurco.
7. Las ruedas compresoras a menudo son usadas en cada abresurco para cubrir la ranura.
8. Pocos abresurcos para labranza cero tienen a la vez ruedas reguladoras y ruedas compresoras y aún menos tienen ruedas combinadas reguladoras/compresoras.
9. Las ruedas de presión cero son un útil elemento adjunto a las ruedas reguladoras.
10. Los soportes flotantes también son un elemento útil adjunto a las ruedas reguladoras.
11. Los resortes mecánicos son un medio pobre para proporcionar fuerza de penetración a los abresurcos para labranza cero porque sus fuerzas cambian con la longitud.
12. Los cilindros de aire comprimido algunas veces son usados para proporcionar fuerza de penetración, pero raramente son una opción práctica.
13. Las pesas intercambiables son útiles en sembradoras para labranza cero para un solo surco pero no son prácticas para máquinas multisurcos.
14. Los sistemas gas-aceite ofrecen ventajas mediante el uso de cilindros hidráulicos tanto para aplicar la fuerza de penetración como para levantar los abresurcos para el transporte.

15. Los sistemas de control automático de las fuerzas de penetración mejoran los sistemas gas-aceite cambiando las fuerzas de penetración en movimiento, en respuesta los cambios en la dureza del suelo.
16. Los abresurcos para labranza cero deberían proporcionar hasta 500 mm de movimiento vertical comparados con 150 mm para los sistemas de suelos labrados.
17. Los brazos de arrastre de un solo pivote en las sembradoras y las sembradoras de precisión son menos útiles en la labranza cero que en la labranza común.
18. Los brazos de arrastre en paralelogramo mantienen el ángulo del abresurcos pero mecánicamente exigen más energía.
19. Cojinetes lubricados o pernos para los pivotes en los abresurcos para labranza cero contribuyen a la duración de la vida de las máquinas que operan bajo condiciones difíciles.
20. Es importante la función de los abresurcos para labranza cero que deposita las semillas en forma uniforme e ininterrumpida en una banda horizontal en el suelo.
21. Es importante la función de los abresurcos para labranza cero que coloca el fertilizante en bandas separadas, tal como se discute en el Capítulo 9.
22. La entrega de las semillas por medio del regulador a los abresurcos para labranza cero es más compleja en virtud del gran espacio horizontal y vertical requerido.
23. La entrega de las semillas por aire para los abresurcos para labranza cero ofrece ventajas.
24. La separación de las semillas individuales a lo largo del surco para la siembra de precisión puede ser una operación riesgosa en la labranza cero porque las semillas rebotan durante el recorrido dentro del tubo.
25. Los abresurcos para labranza cero pueden tener problemas especiales tales como el salto de las semillas, adherencia de las semillas a los discos, turbulencia del suelo, entretejido de los residuos, rebote del abresurcos, rebote de las semillas y cierre de la ranura.

9

Colocación del fertilizante

C. John Baker

La colocación en bandas de las semillas y el fertilizante por medio de los abresurcos en forma simultánea, es más importante en la labranza cero que en la labranza convencional y sigue principios diferentes.

En la labranza cero es especialmente importante sembrar y agregar fertilizantes al mismo tiempo, pero solo si el fertilizante puede ser colocado separado de la semilla, en bandas. Las últimas experiencias han documentado las ventajas en el crecimiento y en el rendimiento obtenidas con la colocación de los fertilizantes en bandas, en el momento de la siembra, cerca pero separados de las semillas. Para las siembras de otoño se coloca una dosis de fertilizante de iniciación, mientras que en las siembras de primavera se coloca la dosis completa de fertilizante.

Las respuestas de los cultivos a la colocación de los fertilizantes en bandas en el momento de la siembra son, casi siempre, mayores en la labranza cero que en la labranza convencional. Hay varias razones para ello.

- La labranza mineraliza la materia orgánica para liberar nitrógeno y este queda fácilmente disponible para las plantas recién establecidas. El aspecto negativo es que dado que no se agrega fertilizante al sistema, el nitrógeno es extraído de la materia orgánica mineralizada, lo cual agota progresivamente este valioso recur-

so. Dado que la mineralización y la liberación del nitrógeno son mínimas bajo labranza cero, las plantas jóvenes pueden aparecer como deficitarias en este elemento, especialmente en las primeras etapas del crecimiento. La colocación del nitrógeno en bandas a lo largo de las semillas durante la siembra para labranza cero soluciona este problema.

- Los residuos superficiales a menudo se descomponen al mismo tiempo de la siembra en la labranza cero. Los microorganismos responsables por la descomposición de los residuos utilizan temporalmente el nitrógeno (lo bloquean) durante este proceso. Si bien el nitrógeno que requieren las plantas puede estar disponible más tarde en el ciclo de crecimiento y a medida que los microorganismos mueren, en el sistema de labranza cero no está disponible por un cierto tiempo para las plantas jóvenes.
- Los nutrientes solubles, especialmente el nitrógeno esparcido a voleo sobre la superficie del suelo tal como ocurre generalmente en los suelos labrados, son a menudo lavados por el flujo de agua que penetra en la tierra por los canales hechos por las lombrices de tierra y por otros biocanales (por ej., canales de raíces muertas) que, por lo general, pasan fuera del alcance de las raíces de las plantas jóvenes. En los suelos labrados,

estos biocanales son destruidos y reemplazados por un sistema más disperso de poros que proporciona una infiltración más uniforme del agua y de los fertilizantes agregados a voleo.

- Bajo repetidas operaciones de labranza cero, los nutrientes aplicados en la superficie que fácilmente se adhieren a las partículas de suelo, tales como el fósforo, se acumulan en una capa fina cerca de la superficie de la tierra y pueden no estar disponibles para las plantas jóvenes.

Muchos de estos factores a menudo se combinan bajo los regímenes de labranza cero de modo que los nutrientes pueden estar menos fácilmente disponibles para las plántulas y para los cultivos en crecimiento. Por esta razón, la colocación de los fertilizantes en bandas, simultáneamente con la siembra, es una operación muy importante.

Numerosos experimentos y observaciones de campo han confirmado que esparcir los fertilizantes a voleo durante las operaciones de labranza cero a menudo obtiene respuestas pobres del cultivo. La Lámina 56 ilustra una típica respuesta del campo. Un contratista sembró especies forrajeras en Nueva Zelanda con abresurcos de ala en un campo fértil y simultáneamente colocó en bandas 300 kg/ha de una mezcla fertilizante N:P:K cerca de las semillas, pero sin tocarlas. Cerca del final del trabajo la máquina quedó sin fertilizante pero el agricultor continuó, agregando el fertilizante a voleo. Sin embargo, el cálculo se había basado en la comparación del fertilizante en bandas con la fertilización a voleo. La Lámina 56 muestra claramente la diferencia en la respuesta de las plantas ocho semanas después de la siembra.

Este tipo de respuestas no están limitadas a las gramíneas. De hecho, las respuestas a la colocación del fertilizante en la labranza cero fueron reconocidas por la primera vez en la década de 1980 en los Estados Unidos de América en un cultivo de trigo (Hyde *et al.*,

1979). Casi todos los cultivos y los suelos tienen el potencial para mostrar una respuesta similar a la ilustrada en la Lámina 56. Tanto las monocotiledóneas como las dicotiledóneas muestran regularmente respuestas similares.

La Lámina 57 muestra una marcada respuesta en Francia a la fertilización en bandas del maíz. Los cuatro surcos en el centro y a la izquierda en la lámina fueron fertilizados a voleo a la misma dosis del fertilizante colocado en todos los otros surcos. Las diferencias fueron notorias.

Hay dos consideraciones importantes que deben ser hechas cuando se aplican fertilizantes en bandas:

1. La posible toxicidad del fertilizante para las semillas y las plántulas, conocida como «quemado de las semillas».
2. Respuestas al fertilizante expresadas por el rendimiento de las plantas.

Estos dos puntos se examinan separadamente a continuación.

Toxicidad

Hay tres opciones para aplicar fertilizante bajo el sistema de labranza cero: i) superficial a voleo; ii) mezclado con la semilla, o iii) en bandas, simultáneamente a la siembra, separando la semilla del fertilizante.

Dado que la fertilización a voleo es una operación separada que se ejecuta antes o después de la siembra y no una función de la siembra para labranza cero no será analizada.

La mezcla del fertilizante con la semilla es una operación riesgosa en razón del potencial daño tóxico de los compuestos químicos a las semillas y a las plántulas. En los suelos labrados, la mezcla del fertilizante con el suelo suele a menudo reduce el riesgo de «quemar las semillas». Pero en los suelos sin labrar, especialmente en los suelos húmedos, la dilución del fertilizante en el suelo por medio de su mezclado es mínima.



Lámina 56 Pasturas establecidas en el sistema de labranza cero (con fertilizante a voleo en el frente de la lámina). Nueva Zelanda.



Lámina 57 Diferencia entre fertilización a voleo (cuatro surcos a la izquierda de la lámina) y fertilizante en bandas en un maíz en sistema de labranza cero. Francia.

En términos generales, la toxicidad fertilizante-semillas es afectada por los siguientes factores:

- la formulación del fertilizante. La mayoría de las fórmulas de fertilizantes nitrogenados y potásicos muy probablemente «quemem» las semillas, así como algunas fórmulas de fertilización fosfatada. Los fertilizantes secundarios como el boro y el azufre pueden ser especialmente tóxicos;
- la textura del fertilizante. Los fertilizantes secos granulados muy a menudo son colocados directamente con la semilla lo que raramente sucede con los fertilizantes líquidos. Si bien es más fácil la colocación del fertilizante líquido que la del fertilizante granular alejado de las semillas, cualquiera de esas formas causa toxicidad;
- la antigüedad del fertilizante. El superfosfato fresco puede contener ácido sulfúrico libre si bien se disipa después de un tiempo en almacenamiento;
- el contenido de humedad del suelo. Los suelos secos concentran las sales ferti-

zantes en una solución limitada de suelo lo cual puede dañar o matar las semillas por efecto de la ósmosis contraria.

La mezcla de las semillas y el fertilizante y su siembra conjunta o, como alternativa, permitir su mezcla en el abresurcos o en el suelo es, por lo tanto, una solución insatisfactoria para proveer nutrientes a las plántulas en el sistema de labranza cero. En el mejor de los casos, por este medio sólo se podrían aplicar las dosis iniciales de fertilizantes. El límite máximo está considerado alrededor de 15-20 kg/ha de nitrógeno. Un nivel más alto de riesgo puede ser considerado con la colocación en bandas separadas de la semilla y el fertilizante.

Fertilizante en bandas

Para que el fertilizante y las semillas queden en bandas separadas deben ser colocados en diferentes posiciones en el suelo y permanecer en las mismas después que ha pasado el abresurcos y la ranura ha sido cerrada.

Hay tres opciones geométricas válidas. El fertilizante puede ser colocado directamente debajo, a un lado o diagonalmente por debajo y a un lado de la semilla. La colocación del fertilizante sobre la semilla no es una opción lógica porque sería muy similar a la colocación a voleo.

La capacidad de las sembradoras y de las sembradoras de precisión para labranza cero para colocar simultáneamente las semillas y el fertilizante sin que entren en contacto es reconocida como una de sus funciones esenciales. Una encuesta informal sobre labranza cero, hecha por expertos en Estados Unidos de América en la década de 1980, reveló que la colocación de las semillas y el fertilizante en bandas separadas fue unánimemente considerada como el mejoramiento más importante y necesario del diseño de la maquinaria en los abresurcos para labranza cero. Lamentablemente, esta función ha escapado a la capacidad de muchos fabricantes de maquinaria.

Algunas sembradoras y las sembradoras de precisión emplean dos abresurcos separados, uno para las semillas y otro para el fertilizante. Otras combinan ambos abresurcos en un solo abresurco «híbrido» (a menudo muy complejos) y otros aún usan un abresurco para los fertilizantes entre cada par de abresurcos para las semillas. Hay algunos abresurcos modernos diseñados específicamente para operaciones de labranza cero que colocan la semilla y el fertilizante en bandas dentro de la misma ranura sin comprometer la seguridad de las semillas, la separación de los surcos o el manejo de los residuos para distintas velocidades de avance, suelos y condiciones de los residuos.

Bandas verticales comparadas con bandas horizontales

La ausencia de suelos friables hace que la separación de las semillas y el fertilizante sea más difícil en la labranza cero que en los suelos labrados, incluso con abresurcos sucesivos o componentes duplicados.

Algunas sembradoras y la mayoría de las sembradoras de precisión en suelos sueltos o labrados usan un abresurcos delantero para colocar el fertilizante a una profundidad determinada, que es seguido por un raspador que llena la ranura con suelo suelto. Este a su vez es seguido por el abresurco sembrador que abre una nueva ranura que puede ser más profunda o estar a un lado de la ranura del fertilizante. Por lo general no es posible o deseable esta manipulación reiterada del suelo suelto en la labranza cero, por lo que la opción es la colocación a voleo o la inyección del fertilizante como una operación separada antes de la siembra o, simultáneamente sembrar y colocar en banda el fertilizante a un lado de la semilla por medio de un abresurco separado.

La experiencia con los suelos labrados sugiere que la separación vertical de la semilla

y el fertilizante debería ser de por lo menos 50 mm (o «bandas profundas»). Sin embargo, la experiencia con la labranza cero muestra que la extrapolación de los resultados obtenidos en los suelos labrados requiere ajustes según la naturaleza del suelo y el comportamiento de la máquina.

La versión de discos de los abresurcos de ala proporciona una barrera física entre los dos lados de una ranura horizontal en el suelo, lo que permite que la semilla sea depositada en un lado y el fertilizante en el otro y ofrece así una separación horizontal o banda adecuada. A medida que el disco sale del suelo tiende a hacerlo subir, y resulta en una distancia de separación horizontal final de 10-20 mm. La Lámina 58 muestra la separación horizontal de la semilla y el fertilizante en una ranura en forma de T invertida creada por un abresurco de ala.

Con este abresurco también es posible separar verticalmente la semilla y el fertilizante, colocando una lámina larga y una lámina corta en el mismo lado del disco. La Lámina 59 muestra un prototipo de abresurco de ala con esas láminas para proporcionar la separación vertical de la semilla y el fertilizante.

Existe además otra versión con este abresurco, que usa una lámina corta y una lámina larga en lados opuestos del disco, y crea así una separación diagonal (o sea, vertical y horizontal). La Lámina 60 muestra una ranura excavada por un abresurco de ala en la cual hay una diferencia de nivel clara entre el nivel de la semilla y el nivel del fertilizante (o sea, banda en diagonal). La Figura 26 es una representación diagramática de una banda diagonal cuando se usan separadamente dos abresurcos de discos. Modelos similares de colocación se han obtenido recientemente



Lámina 58 Corte de una ranura en forma de T invertida que muestra la banda horizontal de semillas (izquierda) y de fertilizante (derecha) (de Baker y Afzal, 1986).



Lámina 59 Prototipo de abresurco de ala con láminas cortas y largas para la separación vertical de la semilla y el fertilizante (de Baker y Afzal, 1986).

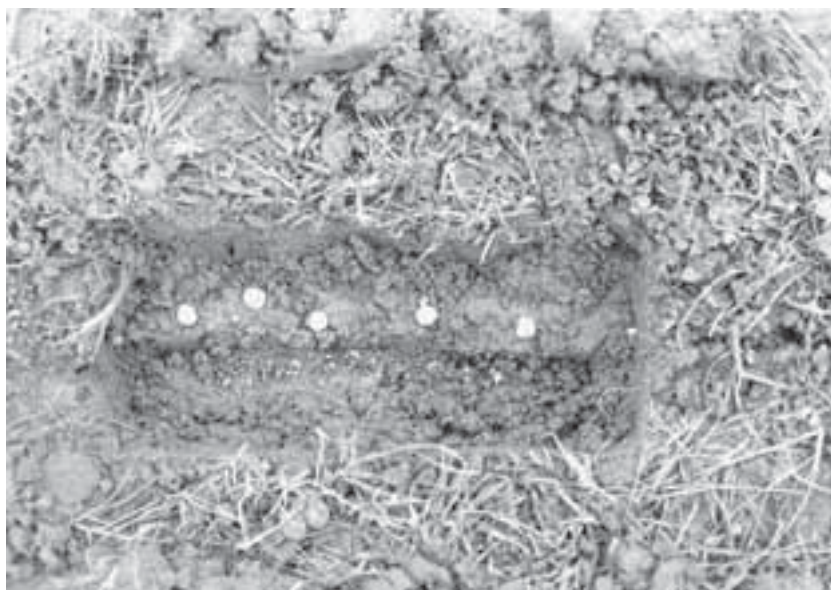


Lámina 60 Separación diagonal de la semilla y el fertilizante en el suelo (fertilizante debajo de la semilla hacia la parte de abajo de la lámina) si se usa un abresurco de ala para labranza cero con una hoja más larga en un lado.

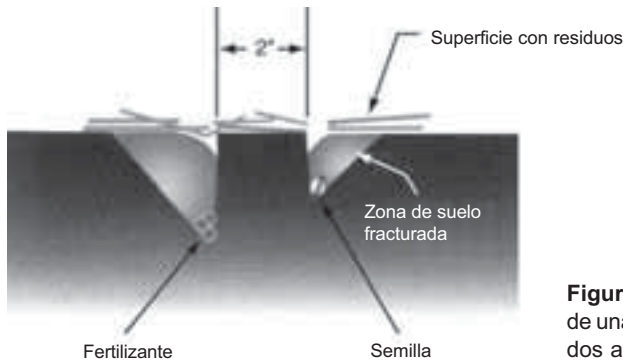


Figura 26 Representación diagramática de una banda de fertilizante en diagonal con dos abresurcos angulados de disco.

con abresurcos de azada modificados usando configuraciones que permiten introducir la semilla y fertilizar a distintas profundidades de penetración.

Baker y Afzal (1986) compararon los efectos de las distancias de separación horizontal y vertical de sulfato de amonio (21 : 0 : 0 : 24) sobre la semilla de rábano (*Brassica napus*) en un suelo de limo sedimentario usando un abresurco de ala. La semilla del rábano es particularmente sensible a la presencia del sulfato de amonio. La Figura 27 muestra el daño a las semillas deter-

minado por el recuento de la emergencia de las plántulas y el Cuadro 12 muestra el crecimiento de las plántulas.

La Figura 27 muestra que una separación horizontal de solo 10 mm fue equivalente a una separación vertical de 20 mm para una reducción de la germinación y la emergencia.

El Cuadro 12 muestra que no solamente hubo menos daño en el caso de la separación horizontal de 20 mm sino que, además, hubo una significativa ventaja de crecimiento con la separación horizontal de 20 mm comparada con

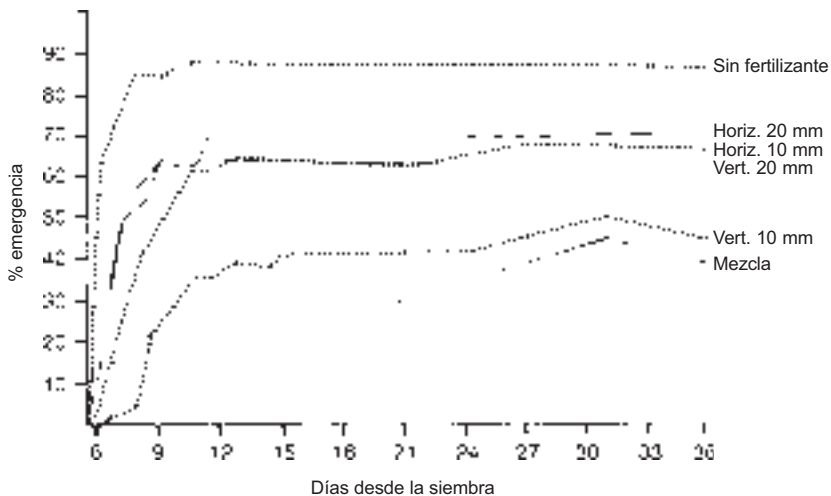


Figura 27 Efectos de la posición de la colocación del fertilizante en relación a la semilla, sobre la emergencia de las plántulas de rábano en labranza cero (de Baker y Afzal, 1986).

Cuadro 12 Efectos del método de colocación del fertilizante sobre el comportamiento de la siembra de rábano en el sistema de labranza cero.

	Número de hojas verdaderas	Altura de la planta (mm)	Peso de la planta (g)
Sin fertilizar	4,1 ab	63 ab	46 ab
Mezcla de semilla y fertilizante	3,3 b	36 b	22 b
Separación horizontal			
10 mm	3,3 b	34 b	19 b
20 mm	4,3 a	71 a	80 a
Separación vertical			
10 mm	3,3 b	38 b	25 b
20 mm	4,2 ab	60 ab	54 ab

Nota: Las cifras seguidas de letras distintas dentro de una columna denotan diferencias significativas ($P < 0,05$).

la mezcla de la semilla y el fertilizante o separando ambos 10 mm, tanto horizontal como verticalmente. Ni la separación horizontal ni la vertical de 20 mm fueron significativamente diferentes del tratamiento donde no se había aplicado fertilizante, lo que confirmó que no había habido daño a la semilla.

Afzal (1981) también comparó la efectividad de la separación horizontal de un abresurco de ala en suelos labrados y en suelos con labranza cero de modo de medir la distancia a la cual los resultados de los suelos labrados podían ser extrapolados con seguridad a suelos con labranza cero. El Cuadro 13 muestra los resultados. En las tres fechas de muestreo (10, 15 y 20 días después de la siembra), el suelo con labranza cero tuvo más plantas que el suelo labrado lo que indica que al-

gunas semillas en el suelo labrado habían muerto a causa del fertilizante o no habían germinado por otras razones.

En el Cuadro 13 parece encontrarse una explicación para esos efectos en el diseño particular del abresurco donde el disco central corta una ranura vertical fina en el suelo, 50 a 75 mm más profunda que el nivel horizontal al que se colocan las semillas y el fertilizante. En un suelo sin labrar, la integridad del corte de este disco es más neta que en un suelo labrado donde la naturaleza friable del suelo permite que el suelo caiga en la zona del corte del disco a medida que el disco se retira del suelo.

Se considera que el corte de este disco, en un suelo sin labrar, interrumpe efectivamente el movimiento de los solutos del fertilizante, los cuales podrían de otra manera llegar a la

Cuadro 13 Efectos de la labranza y la labranza cero en la separación horizontal de la semilla de canola y del fertilizante en la ranura.

Método de establecimiento	Días después de la siembra		
	10	15	20
Labranza cero (plantas/m ²)	25,1 a	50,7 a	55,2 a
Labranza convencional (plantas/m ²)	19,4 b	41,6 b	44,8 b
Incremento de labranza cero sobre labranza convencional (%)	29	22	23

Nota: Las cifras seguidas de letras distintas dentro de una columna denotan diferencias significativas ($P < 0,05$).

semilla o a las raíces de las plántulas y causar daño. También es posible que la alta humedad de la ranura en T invertida en un suelo sin labrar ayude a prevenir la inversión de la ósmosis; este es uno de los mecanismos por los cuales las semillas son dañadas debido a la alta concentración de sales en los suelos secos labrados (ver Capítulos 5 y 6). La humedad general de un suelo labrado es más baja que la de un suelo sin labrar debido a la alta porosidad artificial y a la ausencia de residuos superficiales; en este caso, incluso la ranura en T invertida es incapaz de mantener una zona de alta humedad alrededor de la semilla.

Otro punto importante en la comparación de suelos labrados con suelos no labrados es que los efectos de separar las semillas del fertilizante son más evidentes a medida que el suelo se seca. Collis-George y Lloyd (1979) ya habían notado que, en suelos labrados, el ambiente seco tendía a causar un mayor daño a las semillas por parte de los fertilizantes. Baker y Afzal (1986), usando un abresurco de ala, examinaron si esta tendencia se extendía a los suelos sin labrar.

Los resultados que se encuentran en el Cuadro 14 indican que las plantas sufrieron con la separación vertical y la mezcla de separaciones cuando el suelo se secó, pero que eran equivalentes a los otros tratamientos en el suelo húmedo. El único tratamiento que casi ignoró el contenido de humedad del suelo fue la separación horizontal dentro de la ranura en T invertida. Esto podría haber sido debido en parte al alto contenido de humedad que mantiene esta ranura y en parte al resultado

del corte del disco. El resultado es que la distancia óptima de separación horizontal dentro de una ranura en forma de T invertida fue menor que la distancia comúnmente recomendada para la separación vertical para otros abresurcos y para suelos labrados.

La experiencia de campo ha demostrado que esta versión particular de disco del abresurco de ala usada en estos experimentos es igualmente adecuada para separar las semillas de los fertilizantes líquidos o gaseosos y de los fertilizantes en polvo o granulados.

En dos experimentos separados (C. J. Baker, datos sin publicar) el autor encontró que el límite superior de aplicación de urea seca (46 : 0 : 0) con este abresurcos, en la siembra de maíz a 750 mm de distancia entre surcos, fue de cerca 200 kg/ha de urea (92 kg/ha/N), equivalentes a 15 g de urea por cada metro de surco sembrado antes de detectar algún daño a las semillas. La aplicación de 780 kg/ha de superfosfato de potasio al 30 por ciento (0 : 6 : 15 : 8) a arvejas sembradas a 150 mm entre surcos (117 kg/ha/K), con este abresurcos para labranza cero, no tuvo una toxicidad mensurable sobre la germinación de las semillas cuando se comparó con el tratamiento sin fertilizante.

En los Estados Unidos de América, K. E. Saxton (datos sin publicar) también probó la capacidad del mismo abresurco de ala para separar efectivamente la semilla de trigo del daño de la toxicidad resultante de varias concentraciones y dos formas de fertilizantes nitrogenados sembrados en surcos de 250 mm y no encontró ningún efecto deletéreo sobre

Cuadro 14 Efecto de la posición del fertilizante y el estado de humedad del suelo sobre la germinación (%) de rábano sin labranza.

Separación horizontal 20 mm		Separación vertical 20 mm		Separaciones combinadas	
Suelo seco	Suelo húmedo	Suelo seco	Suelo húmedo	Suelo seco	Suelo húmedo
89	81	64	90	58	85

las semillas aplicando urea seca (46 : 0 : 0) o líquida (solución en agua de hidróxido de amonio 40 : 0 : 0 : 0) a concentraciones de hasta 140 kg/ha de nitrógeno.

Los agricultores en Nueva Zelandia por lo general aplican con este abresurcos hasta 400 kg/ha de mezclas fertilizantes complejas (muchas veces incluyen boro y/o azufre elemental) sin un efecto mensurable sobre el «quemado» de las semillas pero con una respuesta positiva en el crecimiento y los rendimientos de los cultivos (Baker *et al.*, 2001).

Si bien en muchos casos la separación horizontal parece ser algo mejor que la separación vertical, se han diseñado varios sistemas de separación vertical. Hyde *et al.* (1979, 1987) informaron sobre varios intentos para separar verticalmente la semilla y el fertilizante con un solo abresurcos, modificando un abresurco de azada de modo que arrojaba el suelo sobre el fertilizante antes de que la semilla saliera del abresurcos. Sin embargo, la acción de arrojar el suelo dependía de la velocidad de avance y de la humedad del suelo, especialmente de su plasticidad. En condiciones favorables, el rendimiento de los cultivos fue comparable a la separación horizontal con los abresurcos de ala.

Una solución que permite la separación vertical de la semilla y el fertilizante en la labranza cero y que es independiente del contenido de humedad del suelo es el uso de abresurcos de dobles discos inclinados. El abresurco delantero (fertilizante) corta una ranura inclinada y coloca el fertilizante a la profundidad adecuada. A continuación, el abresurco de la semilla es colocado verticalmente o con la inclinación opuesta y más superficialmente, y pone la semilla en suelo sin disturbar, arriba del fertilizante. Esta opción parece ser efectiva pero las fuerzas de penetración necesarias para que los dobles discos penetren en el suelo en cada surco limitan esta operación a suelos razonablemente blandos. La Lámina 8 muestra dos abresurcos de doble disco inclinados.

Otro método más laborioso pero efectivo es la colocación previa del fertilizante como

una operación separada a la siembra de la semilla a una menor profundidad, lo que se puede obtener con virtualmente cualquier diseño de abresurco.

Retención de los fertilizantes gaseosos

Las ranuras en forma de T invertida retienen el vapor de agua dentro de la ranura (ver Capítulos 5 y 6). Es posible que este tipo de ranura también retenga gases volátiles de los fertilizantes nitrogenados (especialmente el amoníaco) dentro de la ranura tal como ocurre con el vapor de agua. Es sabido que la inyección al suelo de residuos orgánicos (residuos animales) y formas inorgánicas de nitrógeno, en forma de gases o líquidos, causan problemas con la volatilización de los gases amoniacales que escapan a la atmósfera. A menudo se resuelve el problema de los residuos animales líquidos inyectándolos a 50 cm de profundidad con el uso de abresurcos de tipo cincel (ranuras en forma de U). Las ranuras en forma de T invertida también ofrecen la opción de inyectar estos materiales en forma superficial (Choudhary *et al.*, 1988b).

La inyección simultánea de nitrógeno inorgánico durante la siembra en la labranza cero es poco práctica en razón de las limitaciones de la colocación en profundidad y la fuerza necesaria de los tractores. El resultado de la colocación simultánea superficial ha sido generalmente un fuerte olor de amoníaco que escapa de las ranuras a medida que avanza la siembra.

Con el abresurco de ala, el olor de amoníaco es menos evidente, lo que indica que ha sido retenido en mayor cantidad dentro de las ranuras. Esto fue notado por primera vez en el campo en los Estados Unidos de América por agricultores que usaban el abresurco de ala, quienes observaron que los perros corrían detrás de la sembradora; esto aparentemente no ocurría con las otras sembradoras ya que

el escape de amoníaco detrás del surco creaba un ambiente desagradable para los perros.

Rendimiento de los cultivos

Como se señaló anteriormente, la fertilización a voleo en la labranza cero a menudo ocurre en campos infiltrados por el agua que se mueve por pasajes preferenciales de flujo pasando por debajo de las primeras raíces de las plantas o de aquellos elementos que se ligan al suelo en su superficie. En contraste, los suelos labrados tienen otros pasajes diversos del flujo gracias a su microporosidad y mezclan los elementos ligantes dentro de la zona labrada. Como resultado, si bien el esparcido de fertilizantes a voleo ha sido aplicado exitosamente durante muchos años en cultivos en camas de semillas en campos labrados, bajo las condiciones de labranza cero, el mismo cultivo responde a la fertilización a voleo en forma errática. Hyde *et al.* (1979) señalaron el problema en el Pacífico Noroeste de los Estados Unidos de América y en un experimento de larga duración conducido por los

autores en Nueva Zelanda también señalaron el problema (Baker y Afzal, 1981).

En el experimento en Nueva Zelanda fueron comparados el crecimiento estival continuado del maíz sembrado con un abresurco de ala en un suelo con labranza cero y en una cama de semillas preparada en forma convencional. Esto también coincidió con algunos desarrollos tecnológicos importantes en los abresurcos de ala que tuvieron un cierto impacto sobre el experimento.

La Figura 28 ilustra los primeros cinco años de los rendimientos del maíz. Para eliminar las variaciones estacionales de rendimiento, la labranza convencional recibió cada año el valor arbitrario del 100 por ciento y la labranza cero fue comparada en base al porcentaje. En todos los casos la semilla fue sembrada en ranuras en forma de T invertida con cobertura de Clase IV.

En el año 1 no se aplicó fertilizante ni en el momento de la siembra ni durante el desarrollo del cultivo. El cultivo se desarrolló solamente en base a la alta fertilidad del suelo que había estado bajo uso intensivo de pasturas durante 20 años. El rendimiento del maíz bajo

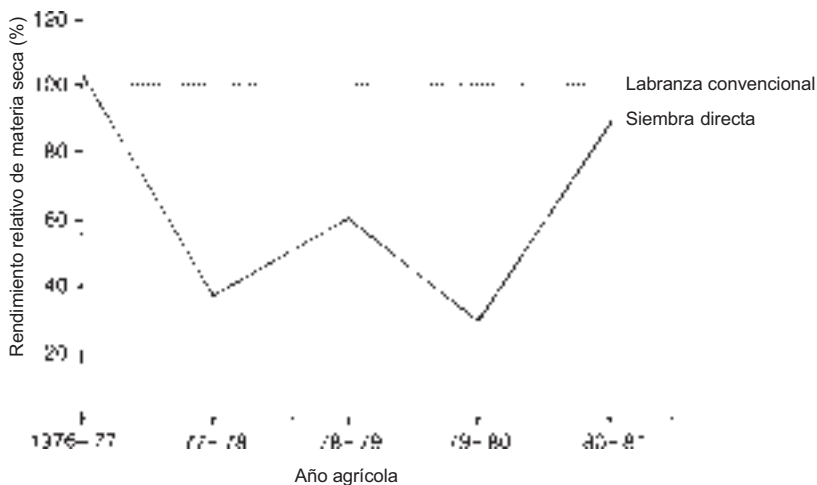


Figura 28 Rendimiento relativo de materia seca (MS) en el sistema de labranza cero comparado con la labranza convencional, con aplicación de fertilizante, sobre los rendimientos de maíz durante un período de cinco años (de Baker y Afzal, 1981).

labranza cero no fue significativamente diferente al del maíz bajo labranza convencional.

En el año 2 tampoco se aplicó fertilización. Sin embargo, en este momento se advirtió la ventaja de la mineralización, favorecida por el proceso de labranza y que fue entonces evidente. Ocurren bajas tasas de mineralización bajo labranza cero porque no hay disturbio del suelo. Como resultado, la labranza cero de maíz rindió solamente un 35 por ciento de aquella bajo labranza convencional.

En el año 3, en el momento de la siembra se aplicó en todas las parcelas, superficialmente, a voleo, 300 kg/ha de fertilizante NPK (10 : 18 : 8 : 0). En esta oportunidad no fue posible la colocación simultánea de la semilla y el fertilizante por los abresurcos de ala sin causar riesgos a las semillas. La semilla fue sembrada con el abresurco simple original y la mezcla de la semilla con el fertilizante no fue considerada una opción válida.

La versión de disco del abresurco de ala que permite la colocación simultánea en bandas no había sido inventada aún. De cualquier manera el fertilizante aplicado en superficie aumentó el rendimiento bajo labranza cero en un 60 por ciento sobre aquel de labranza convencional.

En el año 4 se decidió aplicar una mayor cantidad de fertilizante NPK a voleo que en el año 3 (400 kg/ha) a ambos tratamientos para tratar de elevar más aún el rendimiento bajo labranza cero. Sin embargo, tuvo el efecto contrario y el rendimiento de labranza cero del maíz cayó al punto más bajo de toda la serie, a solo el 30 por ciento del rendimiento con labranza.

El año 5 coincidió con el desarrollo del concepto de la versión de discos del abresurco de ala, el cual, entre otras cosas, permitió que la semilla y el fertilizante fueran colocados simultáneamente en bandas con una separación de 20 mm en ranuras en forma de T invertida.

El efecto sobre el rendimiento del maíz en labranza cero fue inmediato y espectacular. Aumentó los rendimientos si bien no fue significativamente diferente del rendimiento bajo labranza convencional.

En el año 6 el experimento fue alterado a fin de comparar directamente la aplicación de fertilizante en bandas y a voleo bajo labranza cero y bajo labranza convencional y controlar si los resultados del año 5 eran repetibles. Sin duda, lo fueron.

El Cuadro 15 presenta los resultados para el año 6. Claramente, el suelo en la labranza cero se benefició más de la aplicación del fertilizante en bandas que el suelo labrado. Los rendimientos finales de los dos métodos con fertilizante en bandas no fueron significativamente diferentes.

También fueron importantes los rendimientos de maíz obtenidos en las parcelas que no habían recibido ningún tipo de fertilización en el período de seis años. Si bien los rendimientos de las parcelas sin fertilizar en los suelos labrados o en los suelos con labranza cero fueron pobres en comparación con las parcelas fertilizadas, el favorecimiento de la mineralización que había ocurrido en el suelo labrado cada año produjo plantas casi tres veces más grandes que aquellas bajo labranza cero. Esta

Cuadro 15 Efecto de la colocación del fertilizante sobre el rendimiento del maíz (rendimiento de MS kg/ha) en el último año de un experimento de seis años.

	Fertilizante en surco	Fertilizante a voleo	Sin fertilizante
Labranza cero	10 914	4 523	1 199
Labranza convencional	10 163	5 877	2 999

mineralización representa, sin embargo, una «quemar» de la materia orgánica del suelo, lo cual conduce a una pérdida de calidad del suelo y es la razón por la cual la labranza convencional no sustituye a la labranza cero cuando los fertilizantes se aplican correctamente, tanto en lo que se refiere a la sostenibilidad como a los rendimientos de los cultivos.

En el año 2004 un agricultor neozelandés hizo una comparación en su finca. Eligió 11 campos y sembró una crucífera forrajera en una selección de campos elegidos al azar en un período de 17 días con dos sembradoras diferentes para labranza cero (M. Hamilton-Manns, 2004, datos sin publicar).

Una sembradora fue equipada con abresurcos verticales de triple disco. Estos abresurcos tenían los discos delanteros con los bordes ondulados, lo cual reducía los efectos de compactación normalmente asociados con ese tipo de abresurcos. Sin embargo, estos abresurcos no podían colocar el fertilizante en bandas por lo que el difosfato diamónico fue esparcido a voleo a razón de 300 kg/ha. El otro abresurcos estaba equipado con la versión de disco del abresurcos de ala, el cual colocó en bandas la misma cantidad de fertilizante, a 20 mm al lado de la semilla en el momento de la siembra. Las condiciones de humedad del suelo no fueron un factor limitante y la germinación de las semillas fue adecuada con ambos abresurcos.

Los campos sembrados con el abresurcos de triple disco y fertilizante a voleo rindieron en promedio 7 069 kg/ha de materia seca. Los campos sembrados con los abresurcos de alas y fertilizante en bandas rindieron en promedio 10 672 kg/ha de materia seca.

Si bien no es posible aseverar que el 51 por ciento de diferencia fue el resultado solamente del fertilizante en bandas (puede haber habido diferencias en el abresurcos), hay pocas dudas, sin embargo, de que la mayor parte de la diferencia fue debida a esa fertilización en bandas y que los mejores cultivos produjeron en promedio \$EE UU 468/ha más que los cultivos pobres.

Opciones de la fertilización en bandas

Anteriormente se ha mencionado la necesidad de colocar el fertilizante en bandas debajo del suelo sin «quemar» las semillas, lo que es más importante en la labranza cero que en los suelos labrados. En la mezcla de las semillas con el fertilizante se corre el riesgo de «quemar» las semillas.

El recurso de «saltar» un surco en la siembra para que en cada tercer abresurcos se coloque solo fertilizante a fin de fertilizar los dos surcos a cada lado (Little, 1987) no ha sido una alternativa posible, si bien es superior a la fertilización a voleo. Choudhary *et al.* (1988a) encontraron resultados variables con esa práctica, incluso cuando se sembró en surcos angostos a 150 mm. El Cuadro 16 muestra sus resultados.

El tratamiento de «saltar» un surco produjo el rendimiento de cebada fertilizada más bajo (2 072 kg/ha de materia seca) pero fue igual a todos los otros tratamientos cuando se sembró rábano forrajero. En el último caso la mezcla de la semilla con el fertilizante dio el rendimiento más bajo (2 809 kg/ha de materia seca). Todos los otros tratamientos no fueron significativamente diferentes.

En el Cuadro 16 hay otros dos puntos evidentes: los resultados son el promedio de dos suelos, uno de los cuales era una arena fina en la cual había pocos o ningún canal de flujo preferencial debido a la naturaleza friable del suelo. Por esta razón, aun en el caso de suelo sin labranza, el fertilizante nitrogenado aplicado en superficie habría escurrido más o menos uniformemente a través de ese perfil como si este hubiera sido labrado y mostró menos diferencia en favor de la aplicación en bandas que los suelos con mejor estructura.

El segundo punto importante es que una de las combinaciones fertilizante/semilla usadas en este experimento (fosfato diamónico y cebada) no fue particularmente perjudicial para la semilla de cebada. Consecuentemente, la

Cuadro 16 Efectos del método de aplicación de fertilizante sobre el rendimiento de dos cultivos en labranza cero.

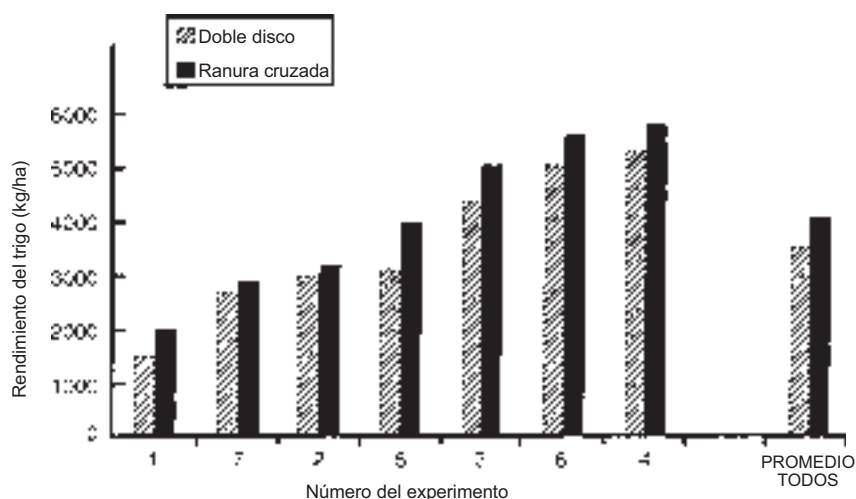
	Rendimiento de materia seca, grano de cebada (kg/ha)	Rábano forrajero (<i>Brassica napus</i>) rendimiento de materia seca de toda la planta (kg/ha)
Sin fertilizante	1 889 b	3 240 ab
Separación horizontal 20 mm	2 580 a	3 763 a
Mezcla de semilla y fertilizante	2 538 a	2 809 b
Fertilización a voleo	2 432 a	3 543 a
Separación «saltando» un surco	2 072 b	3 526 a

Nota: Las cifras seguidas de letras distintas dentro de una columna denotan diferencias significativas ($P < 0,05$).

mezcla de semilla de cebada y fertilizante no presentó desventajas. Por otro lado, la mezcla del fosfato diamónico con el cultivo de rábano mostró resultados similares a aquellos de Afzal (1981) y Baker y Afzal (1986) quienes habían usado una mezcla menos compatible (rape y sulfato de amonio).

Ninguno de los experimentos hechos por los autores presenta evidencia de que sean necesarias mayores cantidades de fertilizante bajo el sistema de labranza cero. En realidad, el fertilizante aplicado debe solamente ser usado en

forma más efectiva colocándolo en bandas a lo largo de la semilla. De hecho, los datos de siete experimentos con trigo sembrado con abresurcos de doble disco en una configuración de «saltar» un surco (cada tercer surco recibió solo fertilizante a 100 mm de profundidad), comparado con una separación horizontal de 20 mm con una sembradora equipada con un abresurco de ala, mostraron que las dosis de fertilizante podían ser reducidas usando este último abresurcos (Saxton y Baker, 1990). La Figura 29 muestra esos resultados.

**Figura 29** Comparación de los rendimientos del trigo en labranza cero usando dos opciones diferentes de colocación de fertilizante en bandas (de Saxton y Baker, 1990).

Los abresurcos de ala, en promedio, mostraron un incremento del 13 por ciento en el rendimiento del trigo, en comparación con la siembra que «salta» el tercer surco, con abresurco de doble disco. Hasta entonces, la configuración de «saltar» un surco, en los Estados Unidos de América, había sobrepasado a todos los otros métodos con los que había sido comparada.

No solamente las plantas sembradas bajo el sistema de bandas horizontales rindieron más que aquellas sembradas con el método de «saltar» un surco, sino que mediciones posteriores mostraron que las plantas habían sido desde el inicio más vigorosas. Ese mejor vigor es probablemente debido en parte a la posición del fertilizante y en parte al ambiente de alta humedad en el cual se desarrollaron las plántulas debajo de la tierra en las ranuras (en forma de T invertida) horizontales.

El Cuadro 17 muestra los análisis del contenido de carbono y nitrógeno de las plántulas cultivadas en esos dos métodos de colocación de fertilizantes en bandas. La Lámina 1 había mostrado anteriormente en forma clara el contraste del desarrollo de las plántulas de la naturaleza más fuerte y fibrosa de los sistemas radicales (más raicillas) según la colocación del fertilizante en bandas y las ranuras en forma de T invertida. Aparentemente, los niveles tanto del carbono como del nitrógeno fueron mayores en las plantas sembradas con los abresurcos en ala con la colocación del

fertilizante en bandas, comparados con aquellos sembrados con el abresurco de doble disco y con aplicación de fertilizante «saltando» un surco.

Aun cuando la colocación en bandas verticales de la semilla y el fertilizante se haga con un solo abresurco, no se ha encontrado una ventaja clara para esta opción.

Más aun, la dificultad técnica de obtener una colocación vertical satisfactoria de las bandas en diversas condiciones con un solo abresurco hace que esta operación a nivel de campo sea poco fiable. El problema es que para obtener la separación vertical, el fertilizante es por lo general colocado primero a una profundidad mayor que la profundidad estimada para la semilla. En los suelos labrados es relativamente fácil conseguir que el suelo caiga sobre el fertilizante antes de que caiga la semilla. Pero en los suelos sin labrar esta operación es mucho más difícil, especialmente cuando el suelo está húmedo y es más plástico. Por esta razón, la separación horizontal es considerada una alternativa más segura ya que la separación efectiva no es afectada por el suelo suelto, la cobertura superficial o la velocidad de operación.

Una comparación de la colocación en bandas horizontales (abresurcos de ala) y de colocación en bandas verticales (prototipo de abresurcos de azada con un deflector para arrojar el suelo sobre el fertilizante antes de colocar la semilla) fue hecha durante varios

Cuadro 17 Contenido de carbono y nitrógeno en labranza cero de plántulas de trigo sembradas con dos abresurcos diferentes.

Tipo de abresurco	Campo número	Carbono (% materia seca)	Nitrógeno (% materia seca)
Abresurco de ala (ranura en T invertida, bandas horizontales)	1	38,00	4,16
	2	38,60	4,70
	Media	38,30	4,43
Abresurco de doble disco (ranura en V, aplicación «saltando» un disco)	1	36,50	4,00
	2	34,69	3,83
	Media	35,60	3,92

años por los autores. Los resultados se encuentran en la Figura 30.

Esta Figura muestra que el abresurco de ala en bandas horizontales produjo un mayor rendimiento en el primer año de trigo de primavera (SW 87) y tal vez en el último año de trigo de invierno (WW 89), pero que no hubo diferencias en rendimiento en las otras tres estaciones.

Un experimento a largo plazo de doble cultivo en Australia comparó durante 14 años los rendimientos de soja sembrada bajo los sistemas de labranza cero y de labranza convencional usando abresurcos de ala (Grabski *et al.*, 1995). En los primeros dos años (1981/82 y 1982/83) los rendimientos bajo labranza convencional fueron superiores en razón de la historia anterior de labranza del campo. Sin embargo, en los 12 años siguientes el tratamiento de labranza cero nunca fue superado y promedió rendimientos 30 por ciento más altos que la soja bajo labranza convencional.

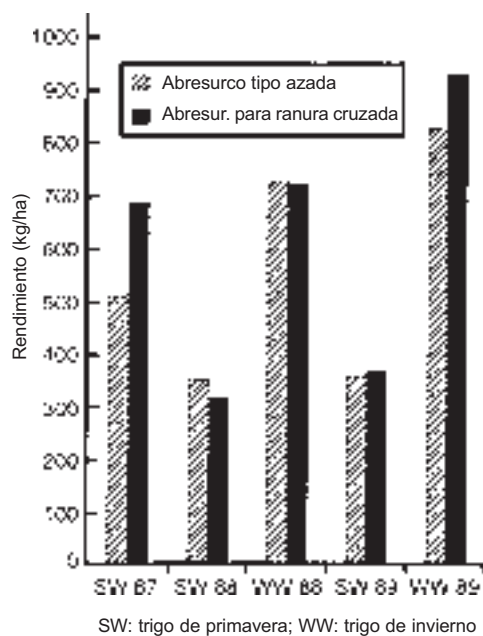


Figura 30 Rendimientos de trigo en labranza cero con colocación del fertilizante en bandas verticales con un abresurcos tipo azada y en bandas horizontales con un abresurcos en ala.

¿Cuán cerca debería estar el fertilizante de la semilla?

Ferrie intentó responder a esta pregunta en Illinois, Estados Unidos de América, en el año 2000. Sus resultados fueron presentados por Fick (2000). Ferrie comparó varias distancias de separación en diagonal de fertilización inicial en maíz sembrado con abresurcos de doble disco que variaba desde 90 mm los más profundos y 50 mm hacia un lado de la semilla hasta 15 mm más profundos y 20 mm hacia un lado de la semilla. Llegó a la conclusión, según las respuestas del cultivo, que «cuanto más cercana fuera la fertilización inicial, mejor sería el cultivo», siempre que el fertilizante no estuviera mezclado con la semilla y que la colocación del fertilizante en bandas no afectara a la colocación precisa de las semillas. El tratamiento con la mayor distancia de separación no produjo una respuesta mensurable de los rendimientos con fertilizante inicial.

Ferrie también indicó que la compactación de la pared de las ranuras podía tener un cierto efecto sobre la capacidad de las raíces jóvenes para llegar al fertilizante, especialmente en los suelos arcillosos. Incluso entendió que en esos suelos hasta un abresurco de cincel podía causar problemas.

Dianxion Cai (1992, datos sin publicar) probó dos opciones de colocación de fertilizantes nitrogenados secos y fluidos en dosis crecientes de nitrógeno, usando abresurcos de ala y sembrando semillas de trigo a 25 mm de profundidad. Las dos opciones eran: i) colocación en bandas estándar horizontales a 20 mm a un lado de la semilla (el fertilizante también fue colocado a 25 mm de profundidad), y ii) bandas diagonales en las cuales el fertilizante fue colocado 20 mm al lado y 13 mm más profundamente que la semilla (o sea, el fertilizante fue colocado a 38 mm de profundidad). La Figura 31 muestra el efecto sobre la población de plantas y la Figura 32 muestra los resultados de los rendimientos de los cultivos.

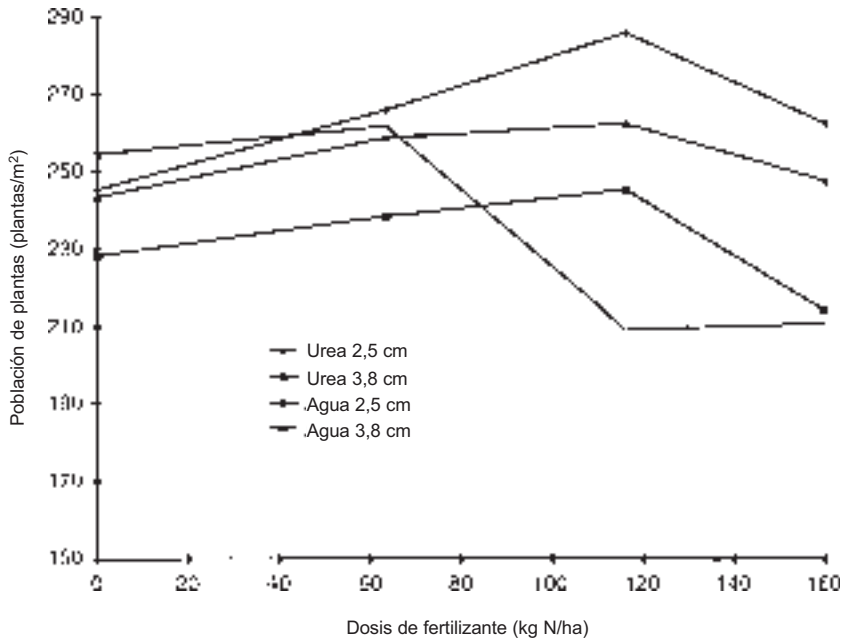


Figura 31 Respuestas de la población de plantas de trigo a la fertilización en bandas horizontales y diagonales de dos formulaciones de nitrógeno en ranuras en forma de T invertida.

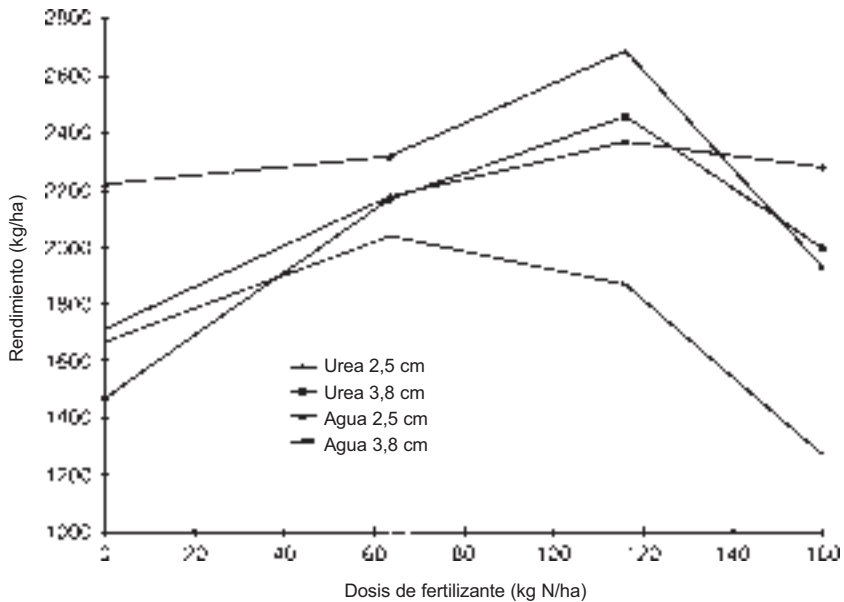


Figura 32 Respuestas del rendimiento del trigo a la fertilización en bandas horizontales y diagonales de dos formulaciones de nitrógeno separadas en ranuras en forma de T invertida.

Según indican esas figuras los efectos sobre la emergencia de las plántulas fueron similares a los efectos sobre el rendimiento, lo que demuestra la importancia de la población inicial de plantas para el rendimiento final. En ambos experimentos las bandas horizontales (25 mm) produjeron más plantas y cultivos más fuertes que las bandas en diagonal (38 mm) con urea en polvo y urea líquida. Estas diferencias fueron más pronunciadas a una dosis de 120 kg/ha de nitrógeno. A dosis más altas, mientras las diferencias permanecieron generalmente inalteradas, las poblaciones de plantas y los rendimientos comenzaron a declinar, probablemente a causa de la toxicidad del fertilizante. La declinación de la población de plantas y de los rendimientos a la dosis más alta de aplicación (160 kg/ha de nitrógeno) usada en estos experimentos no fue considerada importante porque estas dosis son muy superiores a las dosis de nitrógeno en cualquier formulación corrientemente aplicada (160 kg/ha de nitrógeno, equivalentes a 350 kg de urea o 400 kg de nitrógeno líquido).

Conclusión

Uno de los avances más notables en la tecnología de labranza cero ha sido el desarrollo de máquinas con la capacidad de separar el fertilizante de la semilla en bandas horizontales y efectivamente atrapar formas volátiles de nitrógeno dentro de la ranura. Al mismo tiempo estos abresurcos mantienen la efectividad de la función de separación sin ser alterada por la velocidad de avance de la máquina, el tipo de suelo, el contenido de humedad del suelo o la presencia o ausencia de residuos superficiales. Desde una perspectiva de campo, los agricultores encuentran que es más fácil la identificación de este factor único, entre todos los otros, cuando evalúan el comportamiento de la labranza cero con la labranza convencional y también cuando evalúan los méritos de la competencia de los sistemas de labranza cero y las máquinas.

Sería interesante especular sobre cuántos experimentos y observaciones de campo encontraron rendimientos pobres en los cultivos de labranza cero que han sido debidos a la incapacidad del abresurcos de colocar los fertilizantes en bandas en forma adecuada.

Resumen de la colocación del fertilizante

1. Hay menos nitrógeno disponible a causa de la mineralización de la materia orgánica en labranza cero que en la labranza convencional; esto hace que la aplicación de nitrógeno sea importante en la siembra con labranza cero.
2. Puede ocurrir algún bloqueo temporal del nitrógeno en la labranza cero mientras las bacterias del suelo descomponen los residuos orgánicos.
3. La fertilización a voleo es menos efectiva en la labranza cero que en la labranza convencional porque los nutrientes solubles a menudo pasan más abajo de las raíces por la infiltración que ocurre en los canales preferenciales creados por las lombrices y las raíces en descomposición.
4. La colocación de los fertilizantes en bandas profundas en el momento de la siembra es menos efectiva o necesaria en los suelos sin labrar que en los suelos labrados.
5. Es mejor que los fertilizantes estén cerca de las semillas, siempre y cuando no se mezclen.
6. La separación horizontal entre las semillas y el fertilizante a distancias de solo 20 mm ha sido más efectiva en la labranza cero que la separación vertical a cualquier distancia.
7. Relativamente pocos abresurcos para labranza cero proporcionan una colocación efectiva de las semillas y los fertilizantes en bandas con una distancia o dirección adecuadas.

8. Entre los abresurcos para labranza cero que proporcionan una separación efectiva, la separación horizontal es preferible a la separación vertical.
9. Cuando los abresurcos para labranza cero no pueden separar la semilla del fertilizante, otras opciones podrían incluir:
 - siembra alternada, colocando en cada tercer surco solo fertilizante («saltar» un surco);
 - mezcla de la semilla y el fertilizante en la ranura;
 - duplicar el número de abresurcos en la sembradora de modo de ofrecer abresurcos exclusivamente para la fertilización además de los abresurcos exclusivos para las semillas;
 - aplicación superficial a voleo del fertilizante;
 - colocar las semillas y el fertilizante en dos operaciones separadas y a distintas profundidades;
10. La mayoría de los abresurcos de doble disco con un solo abresurco son incapaces de colocar las semillas y los fertilizantes separados;
11. Algunos abresurcos de disco angulados tienen capacidad para colocar el fertilizante en bandas;
12. Una versión de los abresurcos de ala con disco simple separa efectivamente la semilla del fertilizante, tanto horizontal como verticalmente;
13. El rendimiento de los cultivos con los abresurcos de ala han sido mejores cuando se usa la separación horizontal de la semilla y el fertilizante debido a un mejoramiento del microambiente semilla/plántula y a la respuesta al fertilizante;
14. Los abresurcos de azada recientemente diseñados separan la semilla del fertilizante en cualquier dirección;
15. Dos abresurcos de discos (dobles o angulados) inclinados en direcciones opuestas pueden proporcionar una separación vertical de la semilla y el fertilizante.

10

Manejo de los residuos

C. John Baker, Fátima Ribeiro y Keith E. Saxton

Los abresurcos exitosos para la labranza cero no solo manejan los residuos superficiales sin bloquearse sino que también micromanegan esos residuos de modo tal que benefician los procesos de germinación y emergencia de las plántulas.

El segundo recurso más valioso en la labranza cero son los residuos que permanecen sobre la superficie del suelo después de la cosecha del cultivo anterior. El único recurso más valioso que los residuos es el suelo en su estado sin labrar.

Lamentablemente, en la historia de la labranza existen innumerables descripciones de los métodos para eliminar los residuos de modo que no interfieran con las operaciones de la maquinaria. En la labranza, los residuos superficiales han sido considerados como un obstáculo importante y, por lo tanto, comúnmente se hace referencia a los mismos como «basura». Aquellos que no consideran seriamente la labranza cero igualan el término «basura» con residuo, pero se debe tener en cuenta que «basura» es algo indeseable. Los residuos son un sobrante de la cosecha, pero en este caso, deseados y útiles.

Antes de discutir cuán bien los distintos abresurcos y máquinas manejan los residuos, es necesario identificar las distintas formas que pueden tener los residuos (Baker *et al.*, 1979a). Después será apropiado considerar cómo pue-

den ser macromanegados a escala de campo (Saxton, 1988; Saxton *et al.*, 1988a; Veseth *et al.*, 1993) y finalmente las opciones para el micromanego de los residuos en, alrededor y sobre la zona de la ranura (Baker y Choudhary, 1988; Baker, 1995).

Formas que pueden tener los residuos

Vegetación en pie fijada al suelo con raíces cortas

Pasturas (en crecimiento o recientemente eliminadas con herbicida)

Las pasturas en pie que están fijadas al suelo con raíces cortas se encuentran comúnmente en las siembras para labranza cero, especialmente en las que se planea la renovación de la pastura en sistemas intensivos de pastoreo y para el establecimiento de cultivos en sistemas integrados de explotación agrícola y ganadera. En tales sistemas, el manejo de los animales es, por lo general, suficientemente controlado para permitir deliberadamente un pastoreo intensivo del campo antes de la siembra, reduciendo de esa manera la altura del pasto y, por lo tanto, hay una menor demanda de manejo de residuos por parte de

las máquinas. Esto permite el uso de sembradoras relativamente económicas adaptadas a dichas condiciones.

Las pasturas cortas, en pie, por lo general presentan pocos problemas de manejo de residuos ya que el vigoroso sistema radical de fijación y el suelo firme debajo de las plantas permiten que un cincel rígido, sin pre-disco, pase en forma razonablemente limpia. Si la pastura ha muerto recientemente, el tiempo pasado entre la aspersión y la siembra puede tener un efecto importante sobre las propiedades del manejo de este residuo. A medida que comienza la descomposición, enseguida de la muerte de la planta, el material se vuelve progresivamente más débil y es más probable que se libere del anclaje de las raíces. En una etapa avanzada de la descomposición, se puede soltar del anclaje del suelo y comenzar a comportarse como un residuo suelto y no como un residuo fijo y, por lo tanto, ser más propenso a causar el bloqueo de las máquinas. Algunas veces es arrancado en trozos grandes.

Las plantas forrajeras estoloníferas o rizomatosas (o sea, con tallos superficiales o subterráneos entretrejidados) pueden ser pastoreadas muy bajas por los animales pero presentan problemas diferentes ya que su hábito rastreero puede causar la obstrucción de los abresurcos de los tipos sin discos. En estos casos, para un manejo satisfactorio de los residuos es esencial contar con abresurcos con dientes o de cincel.

Residuos cortos limpios después de la cosecha directa con una cosechadora y el enfardado de la paja

Los rastrojos limpios de los cultivos que tienen poca paja sobre el suelo o entre los mismos presentan escasos problemas para su manejo porque las plantas altas, por lo general, pueden ser fácilmente desplazadas a un lado por equipos simples para labranza cero. Estos rastrojos tienen en común con los residuos de pasturas el anclaje ejercido por las

raíces. El tiempo que pasa entre la cosecha y la siembra y las condiciones climáticas en ese período también tienen influencia sobre el nivel de descomposición que ocurre antes de la siembra. En el caso de los rastrojos de cultivos y dado que la cosecha por lo general ocurre en un período seco, la iniciación de la descomposición puede ser más lenta que con las pasturas.

Los rastrojos en pie tienen otras funciones adicionales en los sistemas de labranza cero en climas invernales con nieve o con el suelo helado y en los cuales el cultivo es hilerado antes de la cosecha. Cuando se procede al hilerado, los residuos largos, especialmente en los sembrados en surcos angostos, ayudan a mantener la paja distante del suelo lo que favorece su secado y la cosecha ya que contribuye a facilitar los mecanismos de levantado de las cosechadoras, en comparación con la paja que queda cerca del suelo.

Cuando se esperan nevadas, el rastrojo retiene la nieve y evita que el viento la arrastre. Esta, a su vez, proporciona un aislamiento térmico efectivo del suelo y puede ser responsable del mantenimiento de las temperaturas entre 10 y 15°C más altas que en los suelos sin cubierta nevosa que se pueden congelar (Flerchinger y Saxton, 1989a). Para ello, el rastrojo largo es superior al rastrojo corto.

En cualquier caso, al final del invierno, cuando se siembra, el rastrojo aún sobrevive a los fríos del invierno, está quebradizo pero no ha sufrido un proceso importante de descomposición. Es posible que se rompa a nivel de la tierra, pero dado que es corto raramente es un problema para el manejo de los residuos en la siembra para labranza cero. Por otro lado, en esos climas los sistemas de labranza cero requieren cada vez más que todos los residuos descargados por la cosechadora (entre ellos los residuos trillados y aquellos que permanecen en el suelo) permanezcan sobre el suelo durante todo el invierno. Esta combinación presenta otro problema en lo que refiere a los residuos; será discutida más adelante.

Los rastrojos en pie también cumplen una función importante en los climas secos al reducir la velocidad del viento sobre la superficie de la tierra, lo que disminuye significativamente el movimiento del suelo y su secado. En condiciones ventosas el rastrojo en pie protege las plántulas del cultivo entre las filas de residuos del efecto abrasivo de la arena y otras partículas arrastradas por el viento. Por ejemplo, en Australia, la siembra entre los surcos del rastrojo en pie ofrece protección del viento a las plantas jóvenes, mientras que en Inglaterra el rastrojo en pie tiene un valor diferente, tal como esconder los animales salvajes como los faisanes. Dado que en esas regiones los agricultores cazan los faisanes con fines comerciales, la labranza cero ofrece una oportunidad, por medio del rastrojo largo, de extender el período de caza, lo que no sería posible con la labranza convencional.

En los climas tropicales, el rastrojo en pie puede causar el ahilamiento de las nuevas plántulas. Pero los rastrojos cortos en pie pueden llevar a que entre más material vegetativo en la cosechadora, lo cual causa un mayor requerimiento de energía, más consumo de combustible o una menor capacidad de trabajo.

Por estas razones, en sembrados bajo labranza cero recientemente ha habido interés en el uso de trilladoras que solo arrancan la espiga, ya que este procedimiento maximiza el largo del rastrojo que permanece en pie.

Vegetación alta en pie con raíces profundas

El pasto alto sobre los cultivos de cobertura y el rastrojo limpio alto (300 mm o más), junto a malezas arbustivas, presentan algunos problemas más importantes que la vegetación corta, incluso anclada con las raíces, pero menos que con la paja extendida sobre el suelo. Existe una altura crítica por encima de la cual cada una de esas plantas cae sobre el paso de los abresurcos para labranza cero, o simple-

mente un cierto tiempo, en el cual el residuo se comporta más como paja sobre el suelo que como rastrojo en pie. Los materiales altos también crean un microambiente más húmedo que puede dar lugar a que la descomposición de la base de la paja se inicie más rápidamente que con el rastrojo corto; además, es más probable que facilite su rotura.

La Lámina 61 muestra el efecto de la siembra con la versión de disco del abresurco de ala a través de un cultivo de leguminosa de 0,75 m de alto, parcialmente acostada y que ha sido asperjada. No es común sembrar sobre rastrojos tan altos no solo a causa de las limitaciones de espacio sino porque es difícil que las plántulas tengan suficiente luz durante las primeras etapas del desarrollo para emerger satisfactoriamente.

Paja sobre el suelo

El material desprendido de los tallos, de diferentes medidas, presenta las mayores dificultades para el manejo de residuos en las sembradoras para labranza cero pero, al mismo tiempo, es un recurso biológico único para ese tipo de labranza. Cuando tales residuos yacen en el suelo sobre tierra firme (o sea, después que un cultivo de labranza cero ha sido cosechado o aun cuando el heno haya sido consumido directamente o una pastura sembrada no haya sido totalmente pastoreada por los animales), habrá menos tendencia a bloquear los abresurcos para labranza cero que cuando los residuos quedan sobre una tierra más blanda. Del mismo modo, si los residuos permanecen secos y quebradizos, su manejo y corte serán más fáciles que cuando se han humedecido. A menudo la humedad es una función de la cantidad de paja (rendimiento del cultivo) y del clima. Los residuos más pesados pueden generar su propia humedad e incrementar la temperatura a causa de la acción bacteriana.

También es importante la historia inmediatamente anterior del campo. Por ejemplo, si

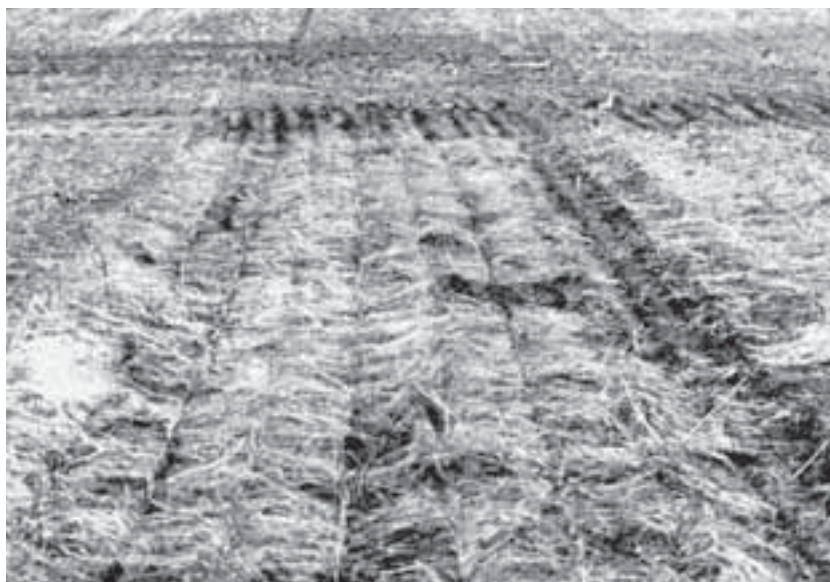


Lámina 61 Efectos de la siembra con la versión de disco del abresurco de ala sobre residuos parcialmente en pie.

el cultivo anual anterior fue establecido sobre un suelo labrado, el suelo en el cual los discos componentes de las abresurcos para labranza cero deberán trabajar para cortar la paja será más blando que si el suelo anterior hubiera estado bajo labranza cero. Este efecto del «trabajo anterior», por supuesto, estará influenciado por el tipo de suelo ya que tiene una influencia importante sobre la efectividad de algunos mecanismos de manejo de residuos; esto presenta dificultades para los agricultores que deben tomar algunas decisiones complejas cuando se cambia de la labranza convencional a la labranza cero.

Por ejemplo, una máquina para labranza cero que siembra sobre residuos de un campo de labranza convencional (durante el período de cambio al segundo sistema) puede no ser la máquina mejor adaptada para sembrar sobre residuos de un cultivo en campo de labranza cero. Más aún, algunos agricultores consideran (por lo general erróneamente) que todavía necesitan labrar ocasionalmente su

suelo, incluso bajo un sistema predominantemente de labranza cero. Puede haber pocas bases lógicas para estas consideraciones, pero de cualquier manera tendrán influencia sobre la elección de la máquina por parte del agricultor, tal vez en detrimento de la verdadera fase de labranza cero. El problema raramente existe cuando se siembra sobre pasturas porque no es común que las pasturas hayan sido establecidas por períodos menores de 12 meses, tiempo durante el cual un campo previamente labrado se habrá consolidado nuevamente.

Afortunadamente, algunos abresurcos para labranza cero son adecuados para sembrar tanto sobre suelo blando como sobre suelo firme (o incluso sobre suelos duros). Las funciones de la mayoría de los abresurcos de dientes o cincel, de los movidos por la toma de fuerza y de los de ala son relativamente poco afectadas por el grado de dureza del suelo (excepto para los requerimientos de la fuerza de penetración); sin embargo, aquellos que tienden a

entretrejer los residuos en la ranura (de doble disco, de disco plano angulado y de disco cóncavo angulado) tienen una tendencia más acentuadas al entretrejido en los suelos blandos. En los suelos firmes es más probable que corten la paja (lo cual es deseable) y no que la empujen o la doblen dentro de la ranura (lo que es indeseable). Sin embargo, en los suelos firmes, es probable que algunos abresurcos compacten el suelo en la zona de la ranura.

Los residuos sobre la superficie de la tierra no están adheridos al terreno y son, por lo tanto, recogidos fácilmente y se queda enredado en las partes rígidas de las máquinas. La tierra más firme proporciona una mayor fricción (tracción) de los discos que operan conjuntamente con los componentes rígidos, lo que asegura que continúen su acción de revolver cuando encuentran residuos sobre la tierra. Algunos discos tienen formas especiales para ayudar a la tracción como por ejemplo los discos con los bordes ondulados o con muescas. Aun así, si la altura de la paja sobre el suelo está por encima del eje del disco, es probable que lo frene, y cause que se deslice o se bloquee. Esto se acentúa por la humedad debajo de la paja, especialmente si esa humedad da lugar a una descomposición parcial cerca de la tierra. La paja en descomposición puede volverse resbaladiza sobre la tierra, a menudo se deslizará delante del disco en lugar de permitir que el disco se bloquee y pase sobre la misma o que la corte. La paja que permanece como rastrojo en pie es menos probable que resbale tanto como la paja en el suelo desnudo.

Esta tendencia al deslizamiento depende en cierta medida de las especies cultivadas. También depende del suelo y obviamente de las condiciones climáticas. Por ejemplo, la paja de arveja se vuelve particularmente resbaladiza cuando está parcialmente descompuesta, especialmente en un suelo firme sin labrar, mientras que esto no ocurre con la paja de cereales. En los casos en que la paja es escasa, como la soja, el rape, el algodón o el lupino, es menos probable que permanezca hú-

meda el tiempo suficiente para promover la descomposición cerca del suelo como ocurre con los cultivos que tienen un fuerte crecimiento vegetativo. Más aún, la rigidez del rastrojo cortado de esos cultivos algo leñosos contribuye a prevenir que resbalen los residuos sobre el suelo.

Se han desarrollado numerosos métodos para manejar la paja sobre la tierra, algunos de los cuales se resumen más adelante. Los métodos más exitosos invariablemente presentan abresurcos con discos, simplemente como abresurco o donde los discos ayudan a la operación de otros componentes rígidos tales como hojas en ala, cinceles o dientes. En esos casos, los discos son un componente común, pero no exclusivo, de los abresurcos para labranza cero diseñados para el manejo de los residuos.

Manejo de los residuos a escala de campo

El macromanejo se refiere a la forma en que se manejan los residuos a escala de campo. Su manejo se discute separadamente en: i) labranza cero en gran escala; ii) labranza cero en pequeña escala. Sin embargo, en cualquier caso, la biomasa superficial, ya sea de cultivos de cobertura muertos o de residuos de cosecha, cumple una función fundamental en los sistemas de labranza cero. Para cualquier sistema de labranza cero (grande o pequeño) el manejo de los residuos debería:

1. Ayudar (o por lo menos no entorpecer) el pasaje de los abresurcos para labranza cero.
2. Si es posible, contribuir a las funciones biológicas de los abresurcos.
3. Asegurar que los residuos se descompongan y agreguen carbono al suelo pero al mismo tiempo permanezcan sobre la superficie el tiempo suficiente para proteger el suelo de la erosión, mantengan el suelo fresco en los climas tropicales, retengan la humedad del suelo y supriman las malezas.

4. Asegurar que los residuos de los cultivos no compitan con el cultivo sembrado.

Estos son requerimientos exigentes y algunas veces competitivos y compromisos que a menudo es necesario cumplir. Por ejemplo, los abresurcos de dientes o cincel o de tipo de cuchillo no manejan bien los residuos por lo que algunas veces los agricultores deciden quemarlos o sacarlos del campo para evitar el bloqueo durante la siembra. Sin embargo, esto compromete algunas de las otras funciones enumeradas. Por esta y otras razones, en algunos países la quema de residuos está prohibida, si bien hasta el 45 por ciento de la biomasa está en las raíces que quedan en el suelo, incluso después de la quema.

Al respecto, es interesante hacer notar que hay escasa diferencia si los residuos son enfardados o enterrados en lo que se refiere a la cantidad de carbono que aportan al suelo (ver Capítulo 2). Excepto cuando los residuos se dejan descomponer en la superficie del suelo, gran parte del contenido de carbono de los residuos vegetales sobre la tierra se pierden del sistema (oxidados y perdidos como bióxido de carbono en la atmósfera). Por lo tanto, para obtener el máximo de un sistema de labranza cero, el desafío para los diseñadores de maquinaria es proporcionar abresurcos para labranza cero que puedan trabajar con cualquier cantidad y tipo de residuos superficiales sin bloquearse. Más aún, como se explica en el Capítulo 5, existe la oportunidad de que los abresurcos manejen los residuos superficiales como un recurso importante para ayudar a la germinación y emergencia del nuevo cultivo.

Labranza cero a gran escala

Control de las malezas y manejo de los residuos de los cultivos de cobertura

En la labranza cero en grandes predios, las malezas y los cultivos de cobertura por lo

general se controlan corrientemente con herbicidas. Sin duda, la factibilidad del concepto moderno de labranza cero debe su existencia al desarrollo de herbicidas no residuales en las décadas de 1960 y 1970. Esto contrasta con la agricultura en pequeña escala que depende sobre todo de medios mecánicos para el control de las malezas.

Aquí no se intentan analizar los puntos favorables o contrarios de la maquinaria especializada para las aspersiones o de diferentes herbicidas. Es suficiente decir que el control de la competencia existente es la primera etapa en cualquier programa de labranza cero y que, si esta no se realiza eficientemente, todas las otras etapas quedarán comprometidas negativamente. El control químico efectivo es función de la comprensión de la biología de las plantas que deben ser combatidas, de la eficacia de los herbicidas a ser usados y del comportamiento mecánico de los asperjadores. Algunos herbicidas (por ej., glifosato) actúan mejor en plantas sin estrés y en crecimiento activo, mientras que otros (por ej., paraquat) son más efectivos cuando las plantas están estresadas. Por supuesto, además hay diferencias entre las especies (incluso, en algunos casos, diferencias varietales) en la resistencia de las plantas a los diferentes herbicidas.

Manejo de los residuos cosechados

¿TRITURADOS O LARGOS? La primera oportunidad y la más importante para manejar correctamente los residuos a escala de campo ocurre en el momento de la cosecha. Una vez que los cultivos han sido trillados y los residuos arrojados de la cosechadora en montones alineados, son muy difíciles de esparcir nuevamente.

Las cosechadoras modernas recogen el material a cortar de un ancho entre 5 y 10 m y lo procesan de tal forma que, si la máquina no tiene desparramador de paja, los residuos son arrojados amontonados en una línea poco densa de paja de 2 a 3 m de ancho. Debajo de estos montones se encuentran los restos del

proceso de separación, a saber, trozos pequeños, aristas, material de las hojas, glumas vacías, polvo y semillas de malezas. La paja forma una cobertura densa, algo más angosta que la hilera de residuos que la cubre.

En contraste con estas zonas con concentración de residuos, una buena labranza cero requiere que los residuos sean distribuidos uniformemente sobre todo el terreno. No existen abresurcos para labranza cero que puedan físicamente manejar las hileras concentradas y los restos de la cosecha, pero este problema es algo académico si se considera que el efecto de los residuos superficiales sobre la germinación, la emergencia y el crecimiento del cultivo es tan importante que, muy probablemente, un cultivo no uniforme tendrá origen en una distribución no uniforme de la paja y los residuos. Esta distribución no uniforme de los residuos también puede afectar negativamente la eficacia de las aplicaciones de herbicidas.

La mayoría de las cosechadoras tienen la opción de los distribuidores de paja. Estos distribuidores de paja son diferentes de los trituradores de paja ya que no trituran el material sino que lo difunden con paletas en lugar de actuar por corriente de aire (Lámina 63); sin embargo, la mayoría de los trituradores de paja también la distribuyen. Los distribuidores de paja no tienen un alto consumo de energía y son de fácil colocación y operación; son un equipo estándar esencial para todas las cosechadoras usadas en los sistemas de labranza cero y se encuentran como dotación en la mayoría de los equipos comerciales.

La necesidad de una trituradora depende de las posibilidades de manejo de los residuos que tengan la sembradora o la sembradora de precisión que se usarán. Los trituradores de paja en cierto modo son poco apreciados porque consumen hasta el 20 por ciento del requerimiento total de potencia de la cosechadora (Green y Eliason, 1999). La trituración de la paja húmeda requiere más potencia que la trituración de la paja seca, si bien la distribución de la paja húmeda sobre la superficie del suelo puede ser más uniforme que la de la paja seca.

Por lo general, si la paja debe ser triturada para evitar el bloqueo de los abresurcos para labranza cero, esto puede denotar un mal comportamiento de los abresurcos.

PAJA. Otro elemento importante son los restos finos de la paja. Con algunos abresurcos, esta cubierta de material fino es más difícil de manejar que la paja gruesa. Afortunadamente, reconociendo este problema, muchas cosechadoras ahora ofrecen distribuidores para este material fino (distribuidores de material fino y también trituradores o distribuidores de paja) (Lámina 62).

Muchos trituradores/distribuidores de paja pueden ser ajustados para producir cortes largos o cortos y para distribuir los residuos a diferentes distancias por medio de ajustes del deflector, la posición vertical de los cuchillos y la velocidad de la trituradora (Siqueira y Casão, 2004).

Algunas trituradoras de paja modernas usan principios mejorados de corte, apoyados por una corriente de aire para su distribución. Por ejemplo, algunos tipos de tornillos sin fin pueden ser aplicados tanto a la paja como a la paja fina con un ancho de distribución de 10 m en cualquier dirección y sin una separación evidente de las distintas fracciones (Lücke y von Hörsten, 2004).

DISTRIBUCIÓN DESPUÉS DE LA COSECHA. Cuando no es posible distribuir los residuos con la cosechadora existen pocas opciones de manejo de los residuos. La redistribución de los residuos en forma uniforme ha sido solo parcialmente exitosa porque mucha de la paja es liviana y esponjosa, por lo que es difícil arrojarla o soplarla a cierta distancia. Una forma de manejar la situación después de la cosecha es pasar los materiales a través de un ventilador grande o una cosechadora de forraje y soplarlos tan alto como sea posible en un día algo ventoso. De esta manera, el viento los distribuirá en forma bastante uniforme; esto requiere un tractor con cabina y un buen sis-



Lámina 62 Distribuidora de paja y de paja fina en una cosechadora. Notar el polvo que provoca la distribución de la paja.



Lámina 63 Un par de distribuidores de paja a golpe en la parte posterior de una cosechadora. Este equipo no distribuye la paja fina.

tema de filtro de polvo y un operador que pueda soportar esas condiciones de trabajo. Se

han ideado algunas variaciones para agregar a las cosechadoras y crear «tormentas de paja».

Otra forma de manejar estos residuos es con una rastra para paja que consiste de una rueda de dientes de rotación libre, angulada, que es arrastrada en ángulo y arroja los residuos más uniformemente sobre el campo. Esta máquina también es una forma conveniente de disturbar las malezas e inducir las a germinar de modo que puedan ser combatidas con un herbicida antes de sembrar el próximo cultivo (conocido en Europa como «trampear»).

Labranza cero en pequeña escala

En las fincas en pequeña escala los cultivos de cobertura no se controlan con herbicidas como en el caso de las fincas en gran escala. En estos casos se usa frecuentemente la destrucción mecánica o su combinación con métodos químicos. La destrucción mecánica es preferida porque resulta en menores gastos y una menor exposición del agricultor y sus familias a los compuestos químicos, si bien algunos compuestos como el glifosato tienen un alto nivel de seguridad. Sin embargo, otros herbicidas (por ej., paraquat) son menos seguros y más difíciles de manejar para los agricultores que trabajan en fincas pequeñas, lo que requiere tomar medidas protectoras más estrictas que en

las operaciones en gran escala en las que los vehículos de trabajo tienen cabinas cerradas con filtro del aire. Los métodos mecánicos para el manejo de los cultivos de cobertura en la agricultura en pequeña escala son, por lo tanto, activamente promocionados.

La destrucción mecánica de las plantas en crecimiento es hecha por cortes, triturado, aplastado o doblado de las plantas. Cada uno de estos métodos es adecuado para diferentes condiciones y da como resultado diferentes cantidades de material vegetal que queda sobre la superficie del suelo.

Corte manual

El corte manual es una operación que requiere un trabajo intenso. Schimitz *et al.* (1991) informaron que se midieron requerimientos de 70 días/hombre/ha para el corte manual de un campo con residuos de pastos de tres años y con un rendimiento de 10 t/ha de materia seca.

Cuchillos rotativos

Los cuchillos rotativos están entre las herramientas más útiles para el manejo de residuos distribuidos uniformemente sobre la superficie del suelo. La Figura 33 y las Láminas

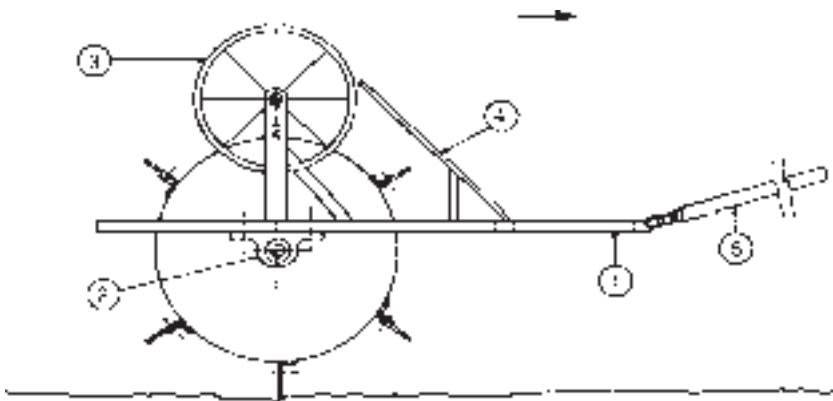


Figura 33 Vista lateral de un cuchillo rotativo: (1) bastidor; (2) cojinetes; (3) rueda para transporte; (4) estructura de protección; (5) barra de tiro (de Araújo, 1993).

64 y 65 muestran ejemplos de cuchillos rotativos típicos. Tienen la ventaja de permitir la producción orgánica sin compuestos químicos y combinada con labranza cero. Por ejemplo, estos implementos son comúnmente usados para la producción orgánica de soja sin labranza en el sur de Brasil (Bernardi y Lazaretti, 2004) y están disponibles para tracción animal o con tractor.

Los cuchillos rotativos tienen hojas de metal plano montadas en un rodillo en un bastidor, ruedas para su transporte y una estructura de protección. Los cuchillos están montados en el rodillo en varias formas, generalmente en forma perpendicular a la dirección de avance. El efecto de los cuchillos es doblar, aplastar y cortar el material vegetal. Su efectividad depende del ancho, del diámetro y del peso



Lámina 64 Cuchillos rotativos para tracción animal: con cuchillos en todo su ancho (izquierda) y con cuchillos cortos (derecha).



Lámina 65 Cuchillo rotativo tirado por un tractor que trabaja sobre avena.

del rodillo, del número, del peso, del ángulo de inserción y del afilado de las hojas, de la velocidad de operación y de las fibras y de contenido de humedad de las plantas (Scimitz *et al.*, 1991; Araújo *et al.*, 1993).

Los rodillos se construyen de acero o de madera. Los rodillos de acero a menudo se llenan con arena para poder ajustar su peso a las condiciones de las plantas y al resultado deseado del corte, aplastado o doblado. Sin embargo, cuando se trabaja en laderas la arena se puede inclinar hacia un lado y afectar la uniformidad del trabajo y su estabilidad. Monegat (1991) recomendó rodillos de un ancho de 1 a 1,2 m a fin de tener estabilidad en las laderas y mantener la capacidad de estar en contacto con las superficies irregulares.

Los cuchillos pueden ser del mismo ancho del rodillo (Lámina 64, izquierda) o en sec-

ciones cortas (Lámina 64, derecha). Las secciones más cortas aumentan la presión ejercida por cada cuchillo en su impacto con el suelo y distribuye el impacto en forma más uniforme, lo cual es importante especialmente cuando se opera con animales de tiro. Para un determinado diámetro del rodillo, la eficiencia decrece a medida que aumenta el número de cuchillos porque la presión de cada cuchillo es menor (Schimitz *et al.*, 1991). Para un mejor corte los cuchillos deberían estar perpendiculares o angulados respecto a la superficie (Siqueira y Araújo, 1999).

Los Cuadros 18 y 19 muestran las recomendaciones para la construcción de los rodillos de cuchillos para animales de tiro y para tractores, respectivamente (Araújo, 1993).

El diseño, construcción y operación de los rodillos de cuchillos también debe tener en

Cuadro 18 Recomendaciones para la construcción de rodillos de cuchillos para tracción animal (1 m ancho) que operen a 1 m/s (3,6 km/h) (de Araújo, 1993).

Rodillo		Diámetro (cm)	Altura de los cuchillos (cm)	Número de cuchillos	
Materia	Densidad (kgf/m ³)				
Madera de eucalipto	1 040	60	5	5	
			10	6	
			15	6	
Acero + arena	2 000	40	10	4	
			60	5	10
				10	10

Cuadro 19 Recomendaciones para la construcción de rodillos de cuchillos para tracción mecánica (de Araújo, 1993).

Rodillo		Velocidad m/s (km/h)	Diámetro (cm)	Altura de los cuchillos (cm)	Número de cuchillos
Material	Densidad (kgf/m ³)				
Madera de eucalipto	1 040	2 (7,2)	40	5	4
				10	4
				15	6
Acero + arena	1 500	2 (7,2)	30	15	12
				3 (10,8)	25

cuenta los problemas de seguridad. Cuando se trabaja en laderas, es aconsejable usar una barra de tiro fija en lugar de cadenas de modo que la barra pueda actuar como freno del rodillo. Otras condiciones son la maniobrabilidad, que incluye el retroceso (Schimitz *et al.*, 1991) y el uso de protecciones. La Lámina 66 muestra una protección importante tanto para el operador como para el animal de tiro.

La fuerza requerida para tirar un rodillo de cuchillos en avena negra en estado lechoso (sembrada a 100 kg/ha) fue de aproximadamente 3 430 N (350 kgf) por metro de ancho (Araújo, 1993).

El tiempo necesario para manejar la avena negra con un rodillo de cuchillos fue de cerca 3 h/ha con tracción animal y de 0,9 h/ha con tractor (Fundação ABC, 1993; Ribeiro *et al.*, 1993) si bien Schimitz *et al.* (1991) informaron de requerimientos de hasta 6 días/ha con animales de tiro.

La acción de aplastado de los rodillos de cuchillos interrumpe el flujo de savia de la planta, lo cual mata muchas de las plantas

anuales, si es aplicado en el momento oportuno (ver Lámina 67). Al respecto, la mejor operación ocurre cuando el cultivo es uniforme y se pasa el rodillo al inicio de la etapa reproductiva cuando las semillas aún no son viables; esto ocurre en el momento de la floración completa de las leguminosas y en el estado lechoso de los granos de las gramíneas (Calegari, 1990). En algunos ambientes tales como el África subsahariana es deseable que el cultivo de cobertura permanezca verde el mayor tiempo posible para evitar los incendios en la estación seca. En esta situación, un rodillo de cuchillos debería ser pasado al inicio de la estación de las lluvias, antes de la siembra.

Los diferentes métodos de manejo de los residuos de los cultivos de cobertura resultarán en diferentes tasas de descomposición de la biomasa. Araújo y Rodrigues (2000) compararon las tasas de descomposición de avena negra (*Avena strigosa*) en función del tratamiento mecánico; encontraron que después de 68 días los residuos remanentes en relación



Lámina 66 Estructura protectora para el operador y los animales de tiro.



Lámina 67 Avena negra matada con un rodillo de cuchillos.

con la cantidad fue del 59 por ciento para el rodillo de cuchillos, del 48 por ciento para una picadora de forraje y del 39 por ciento para la aplicación de herbicida. Un estudio similar, llevado a cabo por Gamero *et al.* (1997), indicó que, 75 días después, la cantidad de materia seca de avena negra fue un 68 por ciento para el rodillo de cuchillos y un 48 por ciento para la picadora de forraje. Los autores también encontraron una menor población de malezas cuando se usó el rodillo de cuchillos en comparación con la picadora de forraje.

Yano y Mello (2000) evaluaron la distribución de varios largos de corte de guandul (*Cajanus cajan*) como resultado de diferentes tratamientos mecánicos de los residuos de los cultivos de cobertura. La cortadora de pasto produjo un 70 por ciento de cortes de 100 mm comparado con un 45 por ciento de una pastera rotativa y un 22 por ciento del rodillo de cuchillos.

Otra desventaja del tratamiento mecánico de residuos de cultivos de cobertura muy den-

so es que si el cultivo es asperjado con herbicida antes del tratamiento mecánico, el dosel foliar principal puede prevenir que el herbicida llegue a las malezas que crecen debajo. Como alternativa, el cultivo de cobertura puede ser tratado con un rodillo de cuchillos y entonces asperjado, siempre que se proporcione suficiente tiempo a las malezas para aparecer a través del dosel foliar doblado a fin de asperjarlas debidamente. Esta opción es adecuada para los cultivos de cobertura densos, pero se debe tener en cuenta que el asperjado es más efectivo cuando el cultivo de cobertura no es denso.

¿Puede un rodillo de cuchillos sustituir a los herbicidas?

Los rodillos de cuchillos no están diseñados para el control de las malezas si bien el material cortado que producen puede contribuir a la supresión de las mismas. Uno de los objetivos de los cultivos de cobertura es presuprimir las malezas con una monocultura dominante la cual

a su vez puede matarse con un rodillo de cuchillos en el momento apropiado antes de la siembra del cultivo principal. Si el cultivo de cobertura es vigoroso y la incidencia de las malezas es baja, un rodillo de cuchillos puede ser suficiente para preparar el campo. Por ejemplo, en Tanzania, Schimitz *et al.* (1991) informaron que un rodillo de cuchillos había sido efectivo para el control de malezas en pastos hasta tres metros de altos, después del barbecho. Los factores que hacen que esta opción mecánica sea viable son:

1. Sembrar tan pronto como sea posible después de la destrucción del cultivo de cobertura.
2. Usar sembradores de precisión con el mínimo disturbio de la ranura.
3. Para las sembradoras de precisión que crean un cierto disturbio de la ranura, sembrar antes que el cultivo de cobertura sea tratado de modo que los residuos cubran la ranura abierta por la sembradora.

Manejo de los residuos por medio de abresurcos, sembradoras y sembradoras de precisión: micromanaje de los residuos de los cultivos

El micromanaje hace referencia a la forma en que son manejados los residuos directamente por los abresurcos y la función que tienen los residuos en la operación de la ranura. Existe el inconveniente de que los diseñadores de equipos de muchos abresurcos para labranza cero todavía continúan considerando los residuos como un obstáculo indeseable. Si bien reconocen el macrovalor de los residuos para la labranza cero, los diseñadores a menudo no reconocen el microvalor de los residuos para las funciones del abresurcos y los resultados de la siembra. Como se explicó en el Capítulo 5, la altamente deseable Clase IV de cobertura de las ranuras es posible solamente si, en primer lugar, el suelo está cubierto por residuos y los

abresurcos son diseñados de tal forma que retengan esos residuos sobre la ranura.

Manejo de los residuos por los abresurcos

Labranza en fajas

Todos los abresurcos cortan los residuos superficiales con el suelo. No hay forma de evitar esto. En los climas fríos, donde los residuos superficiales consisten de materia orgánica acumulada sin descomponer, tal incorporación puede ser beneficiosa, pero en todas las otras circunstancias, algunos de los valores de la labranza cero se pierden cuando los residuos son incorporados, aun a escala de una simple faja. Además, la labranza en fajas se opone a alguno de los objetivos de la verdadera labranza cero en la zona de siembra.

Remoción hacia un lado

Todos los abresurcos de azada, cuchillas, dientes, discos planos angulados y discos cóncavos angulados empujan hacia un lado el suelo y algunos de los residuos superficiales a medida que avanzan sobre el terreno. Los abresurcos de discos también empujan algunos residuos dentro del suelo y los entretajan en las ranuras de siembra. Con los abresurcos de azada y de cincel, si el residuo es algo grueso y de cierta longitud, se acumula en la barra de tiro del abresurcos y no es movido hacia un lado, lo que causa el bloqueo del abresurcos. Los abresurcos de tipo de disco angulado no tienen este problema pero, en cualquier caso, el residuo que es empujado hacia un lado tendrá una influencia insignificante sobre el microambiente que se crea dentro de la ranura.

Por otro lado, dado que por lo general los residuos están amontonados en uno o los dos lados de la ranura (Lámina 68) es necesaria una cuidadosa elección y operación del elemento usado para que recolecte algunos de los residuos y los devuelva a la zona de las ranuras

(cobertura Clase III), si bien es probable que se mezclen con el suelo. Este proceso ocurre si el suelo permanece seco y friable; si el suelo estuviera húmedo, se crea un efecto adhesivo y el valor del residuo se pierde al ser arrastrado en el suelo pero no a la ranura.

Empuje hacia abajo o a través de la tierra

Todos los discos, en mayor o menor medida, empujan los residuos superficiales hacia abajo. Los abresurcos de triple disco generalmente empujan hacia abajo mientras que los de discos angulados empujan hacia el costado y a través de la tierra. Dado que es imposible cortar todos los residuos en el mismo momento, el problema del empuje hacia abajo es que una parte de los residuos se dobla y entra en la ranura, y queda en cierto modo «clavada» en esta.

Las tendencias de los diferentes discos a «clavar» dependen de varios factores:

1. **Afilado del disco:** los discos más afilados es más probable que corten y que no «claven», pero es imposible mantener los discos afilados en todo momento.
2. **Fragilidad de la paja:** la paja quebradiza es probable que se rompa más que la paja fibrosa; la fragilidad en sí misma es función de la especie, la humedad y el estado de descomposición.
3. **Firmeza del suelo:** un suelo firme ayuda a la adhesividad del disco (efecto de martillo) más que en el suelo blando; en los suelos blandos hay más «clavado».
4. **Velocidad:** la mayor velocidad de operación por lo general reduce el «clavado»; la paja tiene menos tiempo para doblarse en razón de la inercia y es, por lo tanto, más probable que se corte o se rompa.
5. **Presencia de paja o restos pequeños:** cuando la paja queda sobre una capa de restos finos, como sucede corrientemente, esos restos proporcionan una capa blanda debajo de la paja la cual actúa como un suelo blando y favorece el «clavado»; peor aún, una parte de los restos pequeños puede ser empujada hacia abajo dentro de la ranura donde el problema



Lámina 68 Residuos acumulados a un costado en una ranura para labranza cero.

del «clavado» es más grave al entrar en contacto con la semilla.

6. Diámetro del disco: los discos de diámetros menores, en razón de su menor área de contacto, pondrán más presión sobre los residuos que los discos grandes y, por lo tanto, es más probable que corten el residuo en lugar de «clavarlo»; pero es más probable que los discos pequeños arrastren, ya que los discos grandes tienen un ángulo de corte más plano sobre la superficie del suelo.
7. Diseño de los discos: los discos de bordes ondulados, en razón de su tendencia al autoafilado, cortan mejor que los discos planos; los discos con muescas no permanecen más afilados que los discos planos pero cortan más residuos en razón de su función de cortar en tajadas con las puntas de las muescas y la mayor presión de la huella de las mismas.

Doblado desde abajo

La versión de discos de los abresurcos de ala manipula los residuos superficiales, primeramente empujando un disco con muescas a través de los residuos y después usando las alas laterales del lado de las láminas para doblar el residuo y el suelo hacia arriba y hacia afuera, mientras la semilla y el fertilizante son depositados en la ranura. Son seguidos por un par de ruedas para regular la profundidad y la compresión que doblan el material por detrás de la ranura ya sembrada. El resultado final es una ranura horizontal cubierta con suelo y residuos (cobertura Clase IV) en casi el mismo nivel en que fueron colocados el suelo y los residuos antes de la siembra.

La cantidad limitada de «clavado» vertical causado por los discos con muescas tiene escasas consecuencias porque, a diferencia de otros abresurcos para labranza cero, la semilla es colocada a un lado de la ranura del disco central y separada de la paja «clavada». De esta forma la semilla es efectivamente se-

parada de cualquier material «clavado» y, en cambio, se beneficia de la presencia de los residuos sobre la ranura (ver Capítulo 5).

Limpiadores de surcos

Un método para ayudar a los abresurcos para labranza cero a operar en los residuos es limpiar el surco inmediatamente antes de su paso. Los aparatos diseñados para ello son conocidos como limpiadores de surcos o para manejar los residuos.

En la labranza cero en pequeña escala a menudo no es posible usar abridores de discos por el peso necesario para empujarlos en la tierra, comparado con los abresurcos de dientes o de cincel. Los limpiadores de surcos requieren un pequeño peso adicional ya que la mayoría trabajan solo sobre la superficie de la tierra. En estas situaciones pueden hacer posible la labranza cero o tener que desistir de ella.

Con el equipo para labranza cero en gran escala, donde el peso no es un problema, los limpiadores de surcos a menudo son usados en primavera para remover los residuos del área inmediata al surco y permitir que la luz del sol caliente la tierra rápidamente después del frío del invierno (a menudo helada).

La mayoría de los limpiadores de surcos tienen ruedas rotatorias con dientes, discos con muescas o rastrillos colocados en ángulo con la dirección de avance de la máquina por delante de los abresurcos. Los dientes apenas tocan el suelo lo cual provoca que roten como un rastrillo volcador de heno. En este proceso, barren los residuos a uno o a ambos lados moviendo la menor cantidad de suelo posible.

Con residuos más gruesos, se pueden colocar dos ruedas en ángulos opuestos y los dientes sincronizados al frente para reducir la fuerza lateral de todo el aparato, barriendo los residuos a ambos lados del surco y no a un solo lado. La Lámina 69 muestra un



Lámina 69 Un par de ruedas en estrella sincronizadas (limpiadores de surcos) para empujar los residuos hacia un lado.



Lámina 70 Un par de limpiadores de discos, con muescas, angulados, diseñados para empujar los residuos a los dos lados y delante del abresurcos.

limpiador de surcos que consiste en un par de ruedas dentadas sincronizadas. La Lámina 70 muestra una rueda con muescas sin sincronizar diseñada para colocar los residuos a un lado.

Corte de la paja en trozos cortos

Hay una longitud crítica para la mayoría de las pajas por encima de la cual se doblan y se envuelve en la máquina, lo que da rigidez a

todo el equipo (por ej., los dientes). El cortar la paja en trozos relativamente cortos permite que esta se aleje del equipo y no lo envuelva. Otros objetivos de cortar la paja se remiten al origen de la labranza que facilita la incorporación al suelo y facilita el proceso de descomposición.

Para sembrar sobre residuos de maíz con los abresurcos de cincel, Green y Eliason (1999) recomendaron que el largo de los cortes no debería ser mayor que el espacio entre los cinceles de los abresurcos.

La paja cortada también puede quedar sobre la tierra más fácilmente y más cerca de la misma que la paja larga y puede, por lo tanto, proporcionar una cobertura más efectiva. Por otro lado, un abresurcos efectivo para labranza cero deberá asegurar que aun la paja larga se se coloque de nuevo sobre la tierra después que el mismo haya pasado (ver Lámina 61).

Una de las formas más efectivas para obtener paja cortada es colocar un cortador de paja en la parte trasera de la cosechadora. Tal aparato no es bien aceptado por los operadores porque consume considerable potencia y es otro componente que debe ser ajustado correctamente en una máquina que es sin duda compleja. En cualquier caso, raramente cortan toda la paja, con el resultado que las pajas más largas pueden eventualmente acumularse en los abresurcos no equipados para su manejo.

Otros métodos producen paja cortada con un cortador separado. Algunas de esas máquinas incorporan la paja al suelo a medida que la cortan lo cual se aleja de la verdadera labranza cero porque causa un cierto disturbio del suelo.

Un tercer enfoque son los residuos verticales donde la paja es cortada y soplada en una ranura vertical creada simultáneamente por un abresurcos grande instalado en la máquina (Hyde *et al.*, 1989; Saxton, 1990). El resultado es una serie de ranuras verticales llenas de paja que solucionan el problema de disponer de los residuos y al mismo tiempo proporcio-

nan una zona de entrada para la infiltración del agua.

Dado que no hay una labranza general, los residuos verticales complementan la labranza cero pero la ausencia de una cobertura horizontal de superficie reduce las opciones para maximizar los beneficios de la verdadera labranza cero. La Lámina 71 muestra un prototipo de una máquina para residuos verticales en los Estados Unidos de América.

Corte de la paja en el campo

La forma más obvia de manejar los residuos superficiales largos en el lugar es cortar un pasaje a través de los mismos con alguna herramienta afilada. Por lo general, los discos son la herramienta más usada pero hay otros tipos como los cuchillos rígidos y las rotativas a motor.

Cuchillos rígidos

Estos cuchillos trabajan por un corto período solamente si los bordes cortantes permanecen suaves y muy afilados pero su uso durante un largo tiempo es imposible porque el corte de residuos causa varios tipos de daños y especialmente la abrasión de las piedras y el suelo. La Lámina 72 muestra un abresurcos con borde de cuchillo con acción de separador combinada con un borde afilado en un intento de romper o cortar los residuos. La rotura no ha sido exitosa a causa de imperfecciones que se desarrollaron rápidamente en el borde en contacto con piedras lo que resultó en el arrastre de la paja. Esto llevó al deterioro del efecto de corte y al bloqueo de la máquina.

Hojas rotativas a motor

Estas hojas, tales como los abresurcos movidos por la toma de fuerza, no siempre son exitosas. Para ser más efectivas como un pulverizador de suelo, las hojas para labrar a motor son por general en forma de L. La parte

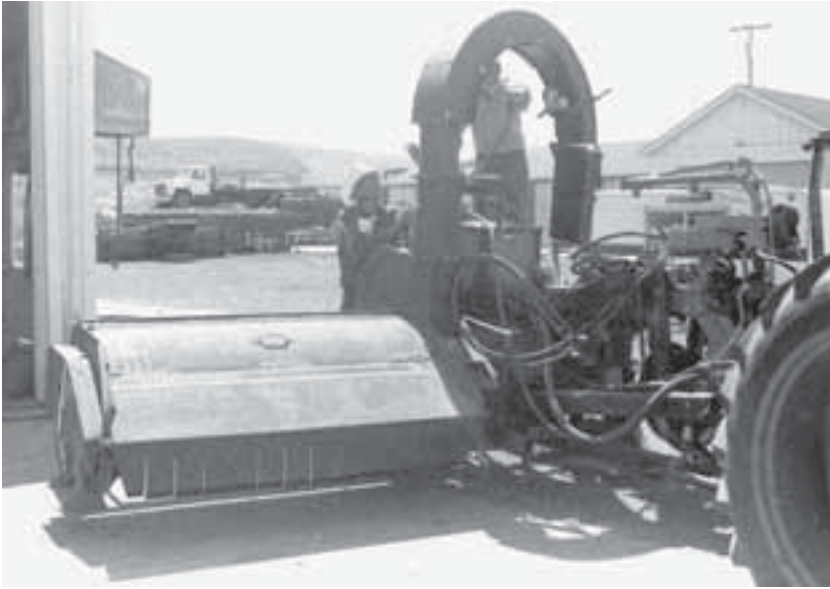


Lámina 71 Prototipo de una máquina para residuos verticales.

horizontal de la L es importante porque levanta, da velocidad al suelo y lo arroja contra la protección que lo rodea, rompiéndolo en partículas más pequeñas. Lamentablemente, la L horizontal también es un excelente lugar

para que se enganchen y envuelvan los residuos. Como consecuencia, las hojas en forma de C colocadas hacia atrás son usadas a menudo en las situaciones en que se encuentran residuos porque permiten que estos se separen

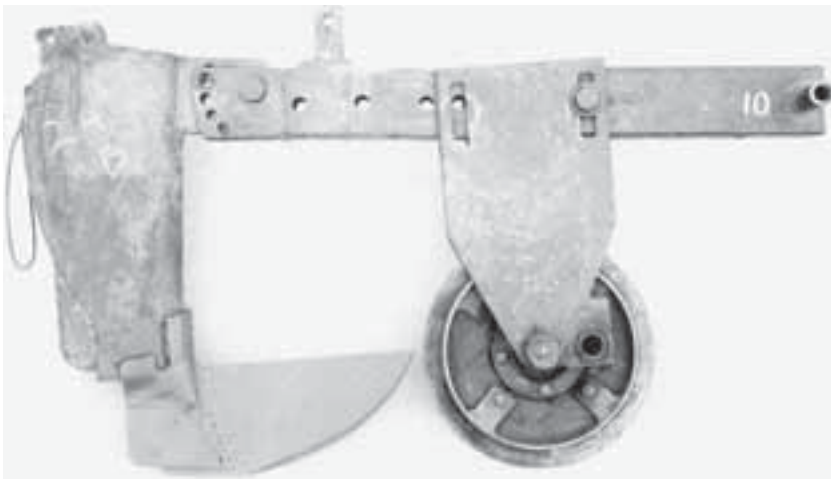


Lámina 72 Prototipo de abresurco con borde de cuchillo diseñado para separar y cortar los residuos (de Baker *et al.*, 1979a).

a medida que las hojas rotan. Sin embargo, las hojas en C no tienen una parte realmente horizontal y como resultado son menos eficaces que la pulverizadora de suelo.

Discos

Pueden ser más eficaces para romper o cortar la paja pero, como se explicó previamente, su acción es altamente dependiente de la firmeza del suelo contra el cual deben cortar la paja y de la fragilidad de la misma paja. Al margen del diseño del disco, ningún disco será capaz de cortar todos los residuos en una sola pasada.

El corte de la paja húmeda fibrosa es particularmente difícil y el corte contra el suelo húmedo es más difícil aún. Una variación que se ha estudiado es anexas un motor al disco a fin de que gire más rápidamente que la velocidad periférica de avance. El objetivo es crear una acción de corte a medida que el disco aprieta el residuo contra el suelo. La Lámina 73 muestra un prototipo de disco motorizado.

Otra variación incluye la vibración del disco a medida que gira por medio de una toma de fuerza en el centro del disco. Ambas opciones de discos a motor tienen, sin embargo, el inconveniente de su costo y de su complejidad al requerir tomas de fuerza individuales en múltiples abresurcos junto con la interrupción del flujo de residuos entre los abresurcos adyacentes debido al gran volumen de esos motores en el centro de los discos. Por otra parte, otros diseños no motorizados obtienen resultados similares a un costo menor.

El diámetro más apropiado de los discos para manejar los residuos agrícolas ha sido siempre un tema de discusión. Los discos de diámetro pequeño tienen una superficie de contacto menor y, por lo tanto, entran mejor en el suelo que los discos más grandes. Por esta razón, también cortan los residuos mejor que los discos grandes. Sin embargo, cuanto más cerca al suelo esté el eje del disco, más fácil será detener su rotación, cuando el espesor de los residuos sobre el suelo excede la



Lámina 73 Abresurcos de disco movido por toma de fuerza diseñado para girar más rápido que la velocidad de avance en el suelo.

altura del eje del disco. Además, un disco de diámetro grande tiene un ángulo más llano de acercamiento entre el borde delantero del disco y la tierra, por lo que será menos probable que empuje los residuos hacia delante y más probable que los atrape en la zona de contacto y después pase por encima o los corte. La medida más apropiada del disco es aquella que tiene suficiente penetración pero al mismo tiempo evita la detención del disco. Los diámetros más apropiados de discos usados en agricultura parecen estar entre 450 mm (18 pulgadas) y 560 mm (22 pulgadas) y son ampliamente usados en los abresurcos para labranza cero.

DISEÑO DE LOS DISCOS. Otro punto de debate es el diseño de los discos. Los discos pueden ser esencialmente de cinco diseños.

DISCOS CHATOS PLANOS (LÁMINA 74). Son los discos más usados en los abresurcos para labranza cero. Son la opción más económica para fabricar y tienen un borde afilado si bien los

experimentos han mostrado que el borde afilado no siempre es necesario. Requieren la menor fuerza de tracción de todos los diseños para asegurar el rodado, lo cual no es una desventaja cuando se usa en residuos cortos en pie, pero puede ser una desventaja en los residuos altos en pie. Cuando son afilados, se intentan usar para cortar los residuos pero, a medida que el borde pierde filo, tiende a enterrarse en lugar de cortar. En este caso, tienen una fuerte tendencia a «clavar» cuando son configurados como doble discos, discos planos angulados o como un predisco simple vertical.

Una característica favorable de los discos planos es que pueden manejar materiales leñosos en mejor forma que muchos otros discos. El borde suave tiende a empujar hacia afuera el material leñoso mientras que otros tipos de discos pueden cortar y enredar los materiales leñosos sin realmente cortarlos, lo cual previene la rotación del disco.

DISCOS PLANOS DE BORDE ONDULADO (LÁMINA 75). Estos discos están diseñados para obtener una



Lámina 74 Disco chato plano.



Lámina 75 Disco plano con borde ondulado.

máxima tracción mediante la interrupción de los bordes de los discos con una serie de ondulaciones. Estas ondulaciones, diseñadas para forzar el disco en el suelo, aseguran su rotación incluso cuando hay residuos gruesos. Por razones aún no comprendidas, los discos ondulados se autoafilan. Como tales, su acción es principalmente de corte, a diferencia de los discos planos, y además son algo menos propensos a «clavar». Las fuerzas de penetración son similares a las de los discos planos chatos. Si bien los discos de borde ondulado son más afilados que los discos planos, lo que hace que penetren más fácilmente, su ondulación realmente aumenta su área de contacto y las fuerzas de penetración necesarias aumentan en lugar de disminuir.

Su tendencia al autoafilado también da lugar a una tasa de desgaste relativamente mayor. Las ondulaciones también son zonas propicias para que se adhieran los suelos pegajosos, lo que interrumpe así su función. Su uso más común es como un solo pre-disco delante de los componentes rígidos tales como los abresurcos de azada. También pueden tener la función de aflojar el suelo delante de los abresurcos de doble disco para contrarrestar la tendencia a la com-

pactación. Por esta razón, algunas veces son conocidos como turbodiscos.

DISCOS PLANOS, CON MUESCAS O FESTONEADOS (LÁMINAS 25 Y 53). Estos discos tienen muescas semicirculares cortadas en su periferia, dejan cerca del 50 por ciento de la misma como «puntos», o sea una parte del disco sin alterar el y el 50 por ciento como incisiones. El objetivo es reducir el área de contacto sobre la tierra, lo cual ayuda a la penetración cuando se lo compara con los discos planos y empuja el disco hacia el suelo para ayudar a la tracción. Los «puntos» del disco penetran en el suelo en primer lugar y presentan aproximadamente la mitad del área de contacto de un disco plano de la misma dimensión, si bien las zonas de las incisiones de las muescas también penetran eventualmente en el suelo a una menor profundidad. El efecto final, por lo tanto, es una penetración más fácil que con los discos planos o con los discos de borde ondulado.

Más aún, a medida que los «puntos» penetran en el suelo, cambian ligeramente su ángulo de ataque a medida que progresan alrededor del círculo rotatorio. Esto tiene el efecto importante de que los bordes casi verticales de los «puntos» en las incisiones resbalan dentro del suelo a varios ángulos y producen una acción de cortado contra una parte del residuo; esto corta esa porción del residuo más efectivamente que cuando es presionada solo desde arriba, como ocurre con los otros tipos de discos.

DISCOS CÓNCAVOS O EN FORMA DE PLATO (LÁMINAS 9 Y 10). Estos discos están casi siempre angulados respecto a la posición de avance de la máquina. Como tales, la fricción contra los mismos se incrementa, en comparación con los discos planos que se mueven en forma directa hacia delante. Por lo tanto, tienen buena tracción y es menos probable que se frenen en residuos planos y pesados como los discos planos; sin embargo, tienen todos los otros

atributos de los discos planos, entre ellos los requerimientos de potencia y la tendencia a «clavar» residuos.

Una de las dificultades que se encuentra con todos los discos angulados es la entrega de las semillas en las ranuras en forma de U creadas detrás del disco. Por lo general, se coloca un cincel cerca del disco debajo de la tierra pero el espacio entre este cincel y el disco es un punto de recolección de residuos cuando se usa en la labranza cero. Es necesario ajustar continuamente este espacio, de lo contrario se bloquea con frecuencia.

Una forma de solucionar el problema es poner un resorte en el cincel de modo que este frote el disco en ese punto. Una ventaja de los discos en forma de plato es que su curvatura les concede considerable resistencia, lo que permite que sean hechos de un acero más fino que el que habitualmente se usa para los discos planos de cualquier tipo. Esto a su vez tiene claras ventajas respecto a la penetración y al afilado. Por ejemplo, un disco de 3 mm de espesor requerirá solamente un 60 por ciento de la fuerza de penetración requerida por un disco de 5 mm, si bien en los discos en forma de plato esta ventaja es superada por la resistencia a la penetración de la parte convexa del disco.

DISCOS EN FORMA DE PLATO CON MUESCAS. Estos discos combinan los atributos de los discos en forma de plato con aquellos de discos con muescas. Si bien tales diseños han sido usados sobre todo para residuos fuertes cuando se cultivan tierras nuevas con arbustos nativos caídos o achaparrados, no se conocen abresurcos para labranza cero que usen este principio en una mejor forma. Del mismo modo, no se conocen abresurcos para labranza cero que usen los discos con borde ondulado.

Realineamiento de los residuos sobre la tierra

Un enfoque actual para evitar el «clavado» con los discos planos es el uso de dedos para

realinear los residuos delante de los discos. Una sembradora de origen estadounidense tenía dientes elásticos verticales diseñados para agitar y empujar la paja sobre el suelo de modo que cada trozo de paja quedaba paralelo al disco que se acerca. Se suponía que esto evitaba la tendencia de los discos a pasar por encima de la paja, o sea el primer paso para el «clavado». Sin embargo, la naturaleza enmarañada de muchos residuos de paja hizo que este enfoque nunca fuera satisfactorio.

Golpeado

Otro enfoque nuevo para para la operación de discos planos o con borde ondulado delante de dientes rígidos ha sido el intento de golpear cualquier residuo que se junta en la parte delantera de los dientes; un solo disco operando delante del diente rígido no permite que el diente pase limpiamente y en todo momento a través de los residuos sobre el suelo. Algunas veces puede hacerse un corte nítido delante de un diente si hay paja corta pero a menudo con residuos enraizados largos puede ser otro problema. Sin considerar si el disco corta bien los residuos, siempre habrá restos sin cortar y al pasar el disco los arrastrará o envolverá en el diente. Aun cuando el disco esté cercano o incluso tocando el lado frontal del diente, los residuos se juntarán en esa parte frontal. Además, es más difícil asegurar que el disco permanezca permanentemente tocando el diente cuando ambos están sujetos a un desgaste normal.

Diseñadores escoceses crearon un aparato autogolpeador (Lámina 76). Dos dedos empujados por elásticos se adjuntaron al centro del disco de tal manera que a medida que el disco rota los dedos entran en tensión contra la tierra. En un cierto momento de la rotación, cada uno de los dedos salta y golpea hacia arriba a alta velocidad delante del borde del diente, lo que remueve los residuos recolectados. Otros aparatos similares han sido usados por los autores pero estos fueron agregados a ruedas separadas que corren a lo largo del diente.



Lámina 76 Aparato para golpear diseñado para la autolimpieza de los dientes fijos.

Los aparatos golpeadores trabajan bien con residuos secos y livianos pero cuando los residuos son pesados y especialmente cuando están húmedos tienden a interferir con la acción de golpeado. El hecho de no remover la paja del diente con cualquier tipo de golpeador se convierte en un problema acumulativo que eventualmente conduce al bloqueo del diente.

Aplastado de los residuos

Para sobreponerse a la naturaleza del golpeado se ha recurrido al más predecible aplastado de los residuos con resultados variables. Para este aplastado, las ruedas están ubicadas a lo largo de los dientes de modo que continuamente pasan sobre un lado de los residuos envueltos alrededor de los dientes. La intención es que el residuo sea removido hacia un lado. Aun cuando esto pueda ocurrir, la presencia de las ruedas generalmente interfiere con el libre paso de otros residuos entre los abresurcos.

Autolimpieza por la caída de los residuos fuera de los dientes

Siempre que haya suficiente espacio alrededor de cada diente, la mayoría de los residuos acumulados en la parte frontal de estos simplemente caerá en razón del propio peso acumulado. Pero, esto no siempre ocurre, especialmente con los residuos húmedos, y es necesario detener la máquina a intervalos irregulares para su limpieza. Estos residuos acumulados interfieren con las operaciones siguientes y son una molestia en el momento de la siembra.

La desventaja más importante de este principio es, sin embargo, la necesidad de espacio en la sembradora para la separación de los dientes individuales. Las sembradoras de este tipo están limitadas a un espaciamiento relativamente grande (250 mm o mayor) y el área ocupada por los dientes interfiere con la superficie detrás de los mismos y con la entrega de las semillas.

Lamentablemente, algunos diseñadores y operadores desean un mayor espacio entre los surcos de las sembradoras, más de lo que es agrónomicamente deseable, expresamente para tener más espacio para los residuos; en la labranza cero, para conservar la humedad del suelo, se debería permitir un espacio más reducido entre surcos que el usado en la labranza convencional, lo que resultaría así en un mayor potencial de rendimiento de los cultivos. Un ejemplo de sembradora con amplio espacio entre surcos se encuentra en la Lámina 14.

Combinación de componentes rotatorios y no rotatorios

Un nuevo e importante principio para el manejo de los residuos fue diseñado en 1979 (Baker *et al.*, 1979b). Consiste en frotar el borde delantero de un componente rígido como el diente, el cincel o la lámina contra la cara vertical en movimiento de un disco plano. Para que la acción del frotado sea autoajutable al desgaste, los componentes fijos deben ser afilados de modo que presenten un borde agudo contra el disco pero que disminuye gradualmente hacia afuera en la parte posterior. De esta manera, es sostenido contra el disco por las fuerzas laterales a medida que pasa por el suelo. Si dos de estos componentes de frotación se colocan uno a cada lado del disco todas las fuerzas del suelo serán simétricas lo que evitará una carga lateral indeseable de los discos y sus cojinetes.

El diseño se encuentra en las Láminas 25 y 46. En el diseño de la versión de discos de un abresurco de ala, se ha aprovechado la oportunidad de colocar la semilla en la base de la ranura dirigiendo su caída entre una lámina fija y la cara correspondiente del disco. Al dirigir el fertilizante en manera idéntica en la otra cara del disco se obtiene un método efectivo de separación horizontal de la semilla y el fertilizante dentro de la ranura (ver Capítulo 9).

En esta acción de frotación están involucrados cuatro principios importantes:

1. El contacto íntimo entre las láminas fijas y los discos móviles permite que cualquier residuo que pase el disco pase también todo el conjunto, de tal modo que los abresurcos con un diente rígido o una lámina puedan manejar los residuos como un abresurco de sólo discos. La combinación de un disco y un componente rígido ha llevado a una notable capacidad de manejar los residuos. Esto es importante porque los abresurcos de solo discos pierden alguna de sus funciones para abrir ranuras en favor del manejo de los residuos. Los mejores microambientes en la labranza cero generalmente son creados por las ranuras horizontales formadas por un diente rígido (ver Capítulo 4).
2. El contacto entre el componente rígido y el disco giratorio es lubricado por una fina capa de suelo (Brown, 1982). Esto significa que el componente rígido puede ser manufacturado de un material más duro (y, por lo tanto, más resistente al desgaste) que el disco, sin cortar en la cara del disco en medida apreciable.
3. Debe haber una pequeña cantidad de precarga entre el componente rígido y el disco, si bien en la operación el suelo los aprieta continuamente en forma conjunta. A medida que entra en el suelo y antes que las fuerzas hayan apretado los dos componentes conjuntamente, un solo trozo de paja puede ocasionalmente quedar insertado entre los componentes si no hay una precarga entre ellos. Este residuo los mantendrá separados por un instante; entonces es probable que otro trozo de paja entre en el hueco, eventualmente con el resultado de bloquear el sistema.
4. Hay un efecto de frenado del disco causado por la frotación en los componentes rígidos. Por esta razón, la tracción del disco debe ser maximizada. Los discos planos con muescas son los más comúnmente usados para este tipo de abresurcos si bien también se han usado discos planos chatos.

Los discos de borde ondulado son inadecuados porque es necesaria una superficie continua para que el contacto entre el disco y la lámina sea efectivo.

Paja húmeda comparada con paja seca

La acción de la mayoría de los abresurcos es afectada por la fragilidad de la paja, la cual a su vez es función de la humedad o la sequedad así como de otros atributos físicos tales como el contenido de fibra. Después de la aplicación de herbicidas o de matar físicamente el material en crecimiento, los residuos pierden agua y se vuelven particularmente correosos. En algunos casos, los mejores resultados se obtienen esperando 10-15 días de modo que los residuos se secan completamente y son más fácilmente cortados por los discos. Esto también permite que el material de las raíces se comience a descomponer, lo cual hace que el suelo tenga más terrones y resulta en una mejor formación de las ranuras. En otras situaciones, la siembra podría ser hecha antes o inmediatamente después que los residuos mueren, siempre que la competencia por el agua del suelo no ocurra entre el cultivo y el cultivo de cobertura antes de matar esta última.

Por otro lado, la paja normalmente es más quebradiza inmediatamente después de la cosecha. Los discos son más efectivos cuando trabajan sobre paja quebradiza en tiempo cálido y cuando la superficie del suelo es firme. Los residuos a menudo se vuelven más quebradizos a medida que pasan el invierno en el campo, lo que facilita la siembra con labranza cero en primavera.

El problema a favor y en contra de los raspadores

Una reacción natural a los problemas de acumulación de suelos y/o residuos adheren-

tes sobre los componentes rotatorios de los abresurcos es colocar estratégicamente raspadores y deflectores para remover el material indeseado. Tales raspadores y deflectores pueden variar desde aquellos diseñados para separar los residuos que llegan cerca del abresurco (por ej., Lámina 77) a aquellos diseñados para proteger una parte específica del abresurcos. La Lámina 78 muestra un raspador circular diseñado en Canadá para remover el suelo del interior de los abresurcos de doble disco.

Sin embargo, muchos raspadores crean más problemas de los que solucionan. A menudo simplemente presentan otro punto en el que se puede acumular el material indeseado. Si bien pueden eliminar el problema original de la interferencia con una parte crítica del abresurcos, raramente solucionan el problema de la acumulación de los residuos. Con la versión de discos de los abresurcos de ala, las láminas laterales y los raspadores para limpiar los discos (Lámina 79) operan por debajo de la tierra y son, por lo tanto, de auto-limpieza.

Distancia entre los abresurcos

Si bien los abresurcos individuales son diseñados para manejar libremente los residuos superficiales sin bloquearse, la ordenación de múltiples abresurcos para manejar residuos en surcos estrechos es por lo general un problema de difícil solución. Los principios más importantes generalmente involucran el espaciamiento lateral. Para ofrecer suficiente espacio lateral entre los abresurcos adyacentes de modo que pasen los residuos es necesaria una distancia mínima de 250 mm. Aun así, las acciones de los distintos abresurcos pueden interferir con los abresurcos vecinos y, por lo tanto, necesitar una mayor distancia. Aun en esos casos, el trabajo de los diferentes abresurcos puede interferir con los

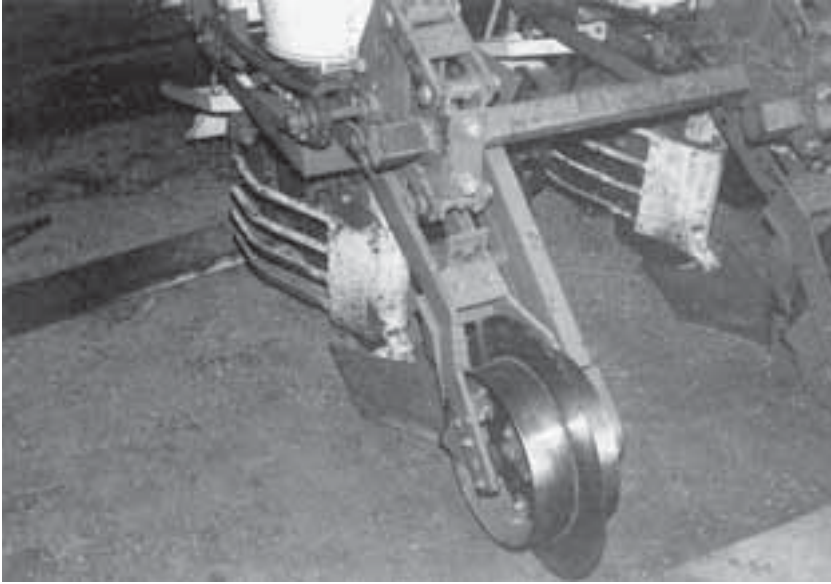


Lámina 77 Deflectores de residuos en una sembradora de maíz.

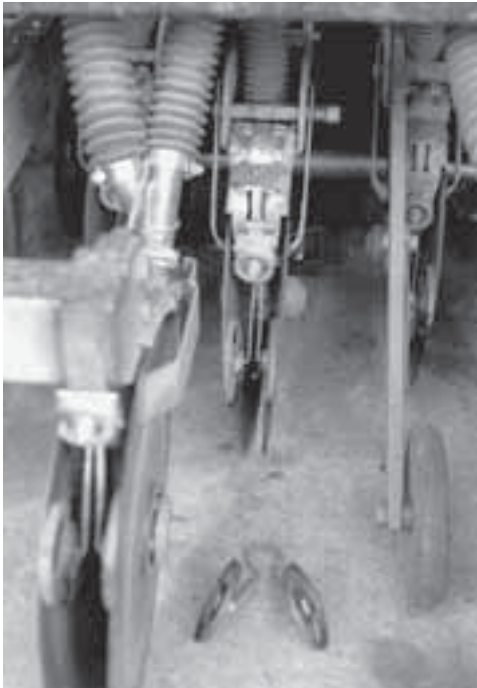


Lámina 78 Raspadores circulares para abresurcos de doble disco.

abresurcos vecinos y, por lo tanto, requerir un mayor distanciamiento.

Por ejemplo, una distancia de 250 mm podría ser suficiente para abresurcos que crean un disturbio mínimo del suelo (por ej., doble disco) pero pueden ser necesarias distancias mayores para los abresurcos que tiran la tierra (por ej., discos angulados y discos planos angulados), de azada o de ala. En estos casos, los abresurcos deben ser alternados colocando uno detrás y el siguiente más adelante para tener una distancia diagonal y una distancia lateral. Una alternativa a estas posiciones es crear distancias laterales mayores entre los abresurcos, pero esto significa incrementar la distancia entre los surcos, lo que puede ser agronómicamente indeseable.

El problema se complica más aún por las mayores fuerzas de penetración necesarias en la labranza cero que se aplican a la barra de tiro que conecta el abresurco al marco de la sembradora. La fuerza requerida por la barra de tiro para transmitir esas grandes fuer-



Lámina 79 Raspadores subterráneos en la versión de disco de un abresurco para labranza cero.

zas de penetración desalienta el uso de barras de tiro alternativamente largas y cortas para crear la distancia lateral y diagonal, especialmente si tales barras también son de tipo paralelogramo con pivotes múltiples. En contraste, las barras largas y cortas son comunes en sembradoras diseñadas para labranza convencional porque, en comparación, las fuerzas son menores.

Una forma de superar este problema ha sido colocar los abresurcos en barras de tiro separadas, una en frente de la otra. Esto permite que los abresurcos en cada barra de herramientas estén espaciados el doble de la distancia de separación de los surcos. En este caso, permite que se usen brazos largos para un arreglo en diagonal y lateral, de construcción fuerte y sin interferir indebidamente con el espacio entre los abresurcos.

El problema del espaciamiento lateral se encuentra principalmente en las sembradoras y no en las sembradoras de precisión ya que las sembradoras pueden tener espacios de hasta solo 75 mm mientras que las sembradoras de precisión raramente requieren espacios entre surcos menores de 375 mm.

Resumen de manejo de residuos

1. El problema físico más importante relacionado con el manejo de los residuos superficiales es el bloqueo mecánico.
2. El problema biológico más importante relacionado con el manejo de los residuos superficiales es el «clavado» de los residuos en la ranura para las semillas.
3. El macromanejo (en todo el campo) de los residuos superficiales se inicia con la cosechadora y es importante para el suelo y el manejo de los recursos de la labranza cero en general.
4. El macromanejo debería estar dirigido a una distribución uniforme de la paja y los restos menores sobre todo el campo. La trituración de los residuos es opcional.
5. El micromanejo de los residuos superficiales es una función de los abresurcos para labranza cero y es importante para controlar el microambiente de las ranuras para las semillas.
6. El micromanejo debería tratar de retornar los residuos sobre, pero no dentro,

- de la ranura de las semillas (cobertura Clase IV).
7. La labranza cero en gran escala casi inevitablemente involucra el uso de herbicidas para matar la vegetación existente.
 8. La labranza cero en pequeña escala confía predominantemente en el manejo manual o mecánico de los residuos.
 9. Los rodillos de cuchillos son una herramienta útil para el manejo de residuos en la labranza cero en pequeña escala.
 10. Los residuos pueden ser clasificados como de «raíces cortas-anclados», «raíces profundas-anclados», «cortos chatos» o «largos chatos».
 11. Los residuos «largos chatos» son los más difíciles de manejar.
 12. Raramente es efectivo confiar solamente en el corte de los residuos. Ningún sistema corta todos los residuos al mismo tiempo.
 13. Los abresurcos de discos más típicos manejan los residuos bien pero también tienden a «clavar» la paja en la ranura, lo cual no es deseable.
 14. Los abresurcos con componentes más rígidos (de azada o de cincel) manejan pobremente los residuos en lo que respecta al bloqueo pero no los «clavan».
 15. La mayoría de los abresurcos que operan con la toma de fuerza manejan pobremente los residuos excepto cuando las hojas son en forma de C.
 16. Los discos con los bordes con muescas u ondulados manejan los residuos mejor que los discos lisos.
 17. Los discos de diámetro pequeño penetran en el suelo y en los residuos más fácilmente que los discos grandes pero es más probable que se bloqueen con residuos pesados.
 18. Los suelos firmes proporcionan un mejor medio para el manejo y corte de los residuos por parte de los abresurcos que los suelos blandos, lo que reduce el «clavado».
 19. Las pequeñas máquinas para labranza cero con abresurcos de diente (debido al costo) a menudo tienen un comportamiento pobre pero se favorece con la atención manual que prestan los operadores para el manejo de los residuos.
 20. El suelo y/o los residuos húmedos son más difíciles de manejar que el suelo y/o los residuos secos.
 21. Los raspadores, excepto cuando operan bajo tierra, son de valor limitado porque acumulan sobre sí mismos los residuos que recogen en otro lado.
 22. La cobertura vertical con residuos consiste en colocar la paja en ranuras verticales profundas dentro del suelo.
 23. Cualquier componente rígido del abresurcos tal como un diente o un cincel acumularán residuos, cualquiera que sea su diseño o de la colocación de un disco delante del mismo.
 24. Solamente cuando el borde delantero de un diente rígido es forzado a rozar en íntimo contacto la cara lateral de un disco plano giratorio, la combinación diente/disco maneja los residuos tan bien como un disco solo.
 25. La distancia mínima entre los abresurcos adyacentes para la autolimpieza de los residuos es de aproximadamente 250 mm, lateralmente, diagonalmente o en ambos sentidos.

11

Comparación del disturbio superficial y de los abresurcos de discos de bajo disturbio

C. John Baker

El disturbio de la superficie del suelo y los residuos a menudo representan la diferencia más visible entre los abresurcos para labranza cero; aún así los efectos más importantes pueden ser causados bajo la tierra.

El pasaje de una sembradora sobre un campo para labranza cero causa una variedad de perturbaciones en el suelo y en los residuos, que dependen sobre todo del diseño del abresurco, de la condición del suelo y de la velocidad de la operación. Estos disturbios son bastante visibles pero los impactos sobre el establecimiento de los cultivos y sus rendimientos pueden ser evidentes solamente en condiciones de estrés.

En la primera parte de este capítulo se revisan los principios de la siembra de los capítulos anteriores para relacionar los efectos del disturbio del suelo con la efectividad de las distintas formas de ranuras comunes en la labranza cero. En la segunda parte se comparan las características del diseño de los abresurcos comunes de tipo de discos ya que son principalmente estos discos los que crean las ranuras con menores disturbios.

Disturbio mínimo *versus* disturbio máximo de las ranuras – ¿Cuánto es demasiado disturbio?

La mayor preocupación está referida a los abresurcos que crean niveles de disturbio

significativamente diferentes tales como los discos simples comparados con un abresurco de azada ancha o de cincel. Estos resultados se conocen como disturbio mínimo *versus* disturbio máximo de los abresurcos. El disturbio mínimo crea el movimiento imprescindible para la inserción de la semilla con un solo corte por encima del residuo superficial mientras que el disturbio máximo mueve un importante volumen de tierra para crear la ranura para la semilla y permite que el suelo caiga o se mueva encima de la ranura y que el residuo se mueva fuera del surco.

Los residuos de los cultivos son vitales para la labranza cero. En realidad, son vitales para la agricultura sostenible. En el pasado, los debates acerca de los residuos superficiales se han centrado sobre todo en su macromanejo: el porcentaje de tierra cubierta por los residuos en relación al control de la erosión, sellado de la superficie, sombreado y la capacidad de las máquinas para su manejo físico. Actualmente se enfatiza la reducción del disturbio de los residuos durante la siembra para la protección contra la erosión gracias a las mayores cantidades de cobertura disponible.

El micromanejo de los residuos se centra en la influencia que los residuos tienen sobre las plántulas y el comportamiento de las plantas en los surcos individuales, todo lo cual redundará sobre el rendimiento de los cultivos.

Un aspecto se relaciona con la erosión del suelo; otro aspecto se relaciona con el rendi-

miento del cultivo. ¿Cuál de ellos es el más importante?

Pocos agricultores utilizarán la labranza cero si los rendimientos de los cultivos no se mantienen: la erosión del suelo y los beneficios serán considerados irrelevantes. Por lo tanto, se podría decir que el micromanejo de los residuos superficiales debería ser el primer objetivo en cualquier sistema de labranza cero. Lamentablemente, la historia enseña que esto raramente ha sido lo que ha ocurrido.

El disturbio mínimo de las ranuras tiene un significado diferente para distintas personas. Por ejemplo, un límite permisible del 30 por ciento de disturbio de la ranura significa que la zona alterada en surcos espaciados 150 mm puede ser de solamente 45 mm de ancho, una expectativa difícilmente obtenible con muchos abresurcos para labranza cero. Pero un 30 por ciento de disturbio en los surcos de maíz o algodón sembrados en surcos a 750-1 000 mm representa 225-300 mm de disturbio, un objetivo mucho más generoso.

Por esta razón, el desarrollo de abresurcos para labranza cero para trigo y otros cultivos en surcos angostos puede ser muy diferente de aquel de los cultivos en surcos anchos. Sin embargo, considerando que el trigo es el cultivo que cubre la mayor área en el mundo, las limitaciones de los abresurcos para cultivos en surcos angostos presentan el mayor desafío para los diseñadores de maquinaria.

El disturbio mínimo para labranza cero es el que causan los abresurcos que disturban la superficie de la tierra lo menos posible, y retienen intactos al menos el 70 por ciento de los residuos después de su paso y distribuidos uniformemente sobre la superficie de la tierra. Los abresurcos para disturbio mínimo incluyen los dobles y triples discos, utilizados siempre que el suelo no esté pegajoso; también incluyen la versión de los abresurcos de ala, algunos abresurcos de cuchillas para operar en condiciones de pocos residuos y algunos abresurcos angulados de discos para operar a baja velocidad en tierras planas y en suelos no friables.

El mayor disturbio en la labranza cero es creado por los abresurcos que levantan el suelo a un lado o que deliberadamente aran una faja de por lo menos 50 mm de ancho. Los abresurcos que causan disturbio máximo incluyen la mayoría de los tipos de azada, de cincel y de arrastre, los discos angulados que operan a alta velocidad y/o en laderas, los abresurcos de doble y triple disco en suelos pegajosos y los abresurcos movidos por la toma de fuerza.

Efectos del disturbio

El diseño del abresurco para labranza cero es de gran importancia en la entidad del disturbio de la ranura la cual a su vez tiene una influencia directa sobre múltiples factores directamente relacionados con la efectividad de las siembras en el sistema de labranza cero. Cada diseño será discutido usando muchos de los principios mencionados anteriormente pero, más específicamente, relacionados con la cantidad de suelo visible y con el disturbio de los residuos una vez que se ha realizado la siembra.

Cobertura de la ranura

En las tierras aradas es relativamente fácil cubrir las semillas con suelo suelto. Por lo tanto, la creación de fajas labradas localizadas en la labranza cero ha sido un objetivo obvio de algunos diseñadores de maquinaria para ese tipo de labranza. Sin embargo, no se ha dado una buena razón biológica para labrar regularmente o disturbar el suelo en la zona de la ranura que no sea compensar el mal trabajo de los abresurcos que colocan la semilla.

Muchos abresurcos para labranza cero y bajo disturbio cortan una ranura vertical en el suelo. Si bien esto crea un disturbio mínimo de la superficie (lo cual es deseable), salvo cuando el suelo está al mismo tiempo seco y con terrones, el cierre de las ranuras es difícil y es aún peor en suelos húmedos y

plásticos. Las ranuras para labranza cero que permanecen abiertas se secan y atraen aves, insectos y babosas que pueden hacer fracasar el cultivo incluso cuando las plantas hayan emergido del suelo. Este problema probablemente ha sido responsable de más fracasos de cultivos en la labranza cero que cualquier otro factor individual.

Los problemas de la cobertura pueden en gran parte ser solucionados, incluso cuando hay un disturbio mínimo de los residuos, al crear ranuras horizontales o en forma de T invertida (abresurcos de ala). La semilla es colocada en el plano horizontal del suelo a cada lado de esas ranuras y en el caso de los diseños avanzados el fertilizante es colocado en un plano idéntico en el otro lado de la ranura. Las partes horizontales con residuos que cubren el suelo se doblan hacia atrás para cubrir a ambos. Incluso si la abertura central se seca y se rompe, como es inevitable en algunos suelos sin labrar, ni la semilla ni el fertilizante quedan expuestos.

Mirando desde la superficie, las ranuras en forma de T invertida pueden parecer similares a las ranuras verticales en forma de V. Ambos tipos de ranuras son generalmente clasificados como de disturbio mínimo pero la diferencia está debajo de la superficie. Las ranuras en forma de V vertical pueden crear paredes laterales compactadas casi verticales y más angostas hacia la base; a menudo es difícil pasar un dedo entre ellas. Por lo general proporcionan coberturas de Clase I o, en el mejor de los casos, de Clase II. Por otro lado, las ranuras en forma de T invertida son más flojas debajo de la superficie, son más anchas a medida que son más profundas y por lo general es muy fácil pasar un dedo a través de las mismas, lo que proporciona una cobertura de Clase IV.

Microambiente dentro de la ranura

El mínimo disturbio de la ranura no siempre equivale a crear un microambiente favorable en la ranura, pero tampoco lo es un dis-

turbio máximo de la ranura. De hecho, el mejor microambiente en la ranura que puede proporcionar el disturbio máximo de las ranuras, raramente es mejor que un suelo labrado, pero puede ser mejor que las ranuras en forma de V mal hechas y cubiertas (cobertura Clase I).

Dentro de las varias ranuras mínimamente disturbadas, las ranuras horizontales (ranuras en forma de T invertida con cobertura Clase IV) crean un microambiente muy favorable encerrando el vapor de agua dentro de la ranura (ver Capítulo 5). Las semillas germinan dentro del equilibrio de la humedad relativa contenida dentro del aire del suelo siempre que esta humedad permanezca por encima del 90 por ciento. Los suelos labrados raramente contienen un punto de equilibrio de humedad relativa mayor del 90 por ciento debido al intercambio de aire con la atmósfera, mientras que los suelos sin labrar siempre tienen un equilibrio entre el 99 y el 100 por ciento. El problema radica en que la ranura para las semillas creada en un suelo sin labrar tenga la suficiente cobertura para encerrar el aire; lo cual generalmente significa residuos sobre el suelo; el potencialmente mejor microambiente en un suelo sin labrar se pierde y las semillas deben entonces contar solo con el microambiente de la ranura que no es mejor que el del suelo labrado.

Las ranuras verticales en forma de V (cobertura de Clase I o II) no encierran la humedad relativa dentro de la ranura y, por lo tanto, son las menos tolerantes de todas para labranza cero en condiciones secas.

Todas las ranuras que requieren algún tipo de labranza en fajas (cobertura de Clase IV) pertenecen a la categoría de disturbio máximo. Es probable que sean más tolerantes a las condiciones adversas que las ranuras en forma de V vertical, simplemente como función del suelo friable dentro de la ranura, pero son inferiores a las ranuras horizontales en forma de T invertida, las cuales también contienen agua en la fase líquida.

Las ranuras creadas por los discos angulados están entre los extremos. Como regla general, una ranura hecha por un disco angulado da lugar a un disturbio mínimo del suelo y contendrá un mejor microambiente dentro de la ranura que las ranuras con un disturbio mayor.

Pérdida de bióxido de carbono

La forma de la ranura y la retención de los residuos pueden afectar la capacidad de las ranuras para labranza cero para retener el bióxido de carbono. No hay duda que todas las ranuras para labranza cero ofrecen mayores ventajas que la labranza (Reicosky, 1996; Reicosky *et al.*, 1996). Pero las diferencias en el disturbio de las ranuras para labranza cero también pueden afectar la cantidad de dióxido de carbono que se pierde desde la zona de las ranuras.

Temperatura y humedad dentro de las ranuras

Algunos estudios han mostrado que la forma de las ranuras y la retención de residuos tienen solo efectos mínimos a corto plazo sobre el contenido de la fase líquida del agua y la temperatura del suelo, si bien ambas son afectadas en macroescala por la retención de los residuos (Baker, 1976a, b, c). Por otro lado, la práctica de remover los residuos de la superficie del suelo aumenta la temperatura en la zona de las ranuras y tiene un efecto considerable en primavera.

El objetivo de este proceso es exponer la zona de las ranuras a luz solar directa cuando el suelo se comienza a calentar—como sucede en primavera— lo cual a su vez causa su secado y, por lo tanto, aumenta la temperatura del suelo en la ranura. Esto genera la pregunta de si las semillas sembradas superficialmente debajo de una capa de residuos (cobertura Clase IV) sufren temperaturas más bajas que las semillas sembradas a mayor profundidad en ranuras sin cobertura, ya que la primera opción proporciona agua para la germinación

a menor profundidad e involucra un menor disturbio de los residuos.

Germinación de las semillas

En los Capítulos 5 y 6 se mostró que mientras las ranuras con disturbio mínimo promueven la germinación en los suelos secos, no todas las ranuras tienen un buen comportamiento en los suelos húmedos, aun cuando ocurre en algunos casos, tales como las ranuras en forma de T invertida. Tampoco una buena germinación concluye en una buena emergencia en los suelos secos.

Las ranuras con disturbio máximo no son ni mejores ni peores para promover la germinación; intentan emular los suelos labrados y como resultado, por lo general, tienen un comportamiento similar a los mismos.

Emergencia y sobrevivencia de las plántulas

En la labranza cero el momento crítico para las plántulas ocurre entre la germinación y la emergencia, tal como se ha discutido en el Capítulo 5. La retención de residuos superficiales sobre la ranura (ranuras en forma de T invertida, cobertura Clase IV) sostiene las plántulas debajo de la superficie del suelo hasta el momento de la emergencia mejor que un suelo suelto (cobertura Clase II-III), que a su vez es mejor que ninguna cobertura (cobertura Clase I). Además, los residuos retenidos en el suelo son deseables desde el punto de vista de la erosión. No todas las ranuras con disturbio mínimo crean coberturas de Clase IV, depende de la cantidad y condición de los residuos. La mayoría de las ranuras que crean un disturbio máximo son de cobertura Clase II-III.

Contacto semilla-suelo, frotación y compactación

La entidad del disturbio de la ranura visible desde la superficie de la tierra no siempre es

un buen indicador de lo que ocurre debajo del suelo respecto al contacto entre el suelo y la semilla. Por ejemplo, las ranuras en forma de V en los suelos pesados (disturbio mínimo) pueden crear cortes netos, frotación (si está húmedo) o aun compactación de las paredes de las ranuras pero, de cualquier manera, tienen un adecuado contacto suelo-semilla, incluso en los suelos secos, porque las semillas quedan apretadas entre las paredes verticales en forma de cuña. Sin embargo, esas semillas pueden germinar y morir (ver Capítulo 6), aun con un adecuado contacto suelo-semilla. En otros casos, las semillas sembradas en ranuras secas muy disturbadas pueden tener un buen contacto con el suelo pero pueden no germinar porque el suelo suelto conduce en mala forma el agua en la fase líquida.

En las ranuras en forma de T invertida (con disturbio mínimo), sin paredes verticales de las ranuras, el contacto semilla-suelo puede ser algo diferente del que se encuentra en las ranuras en U altamente disturbadas, pero, dado que las ranuras en forma de T invertida están cubiertas con residuos (cobertura Clase IV), la presencia de vapor de agua asegura la germinación y la emergencia.

Desarrollo de las raíces

Las ranuras en forma de V vertical crean un disturbio mínimo de la superficie pero pueden limitar el crecimiento de las raíces más que otros abresurcos, especialmente en los suelos pesados húmedos. El uso de prediscos de borde ondulado con esos abresurcos reduce las limitaciones de las raíces pero aumenta el disturbio del suelo.

Muchos de los abresurcos que causan un máximo disturbio, junto con los abresurcos de ala, presentan poca o ninguna limitación para el crecimiento de las raíces.

Infiltración en la zona de la ranura

El disturbio de la ranura tiene un efecto directo sobre la infiltración. Las lombrices de

tierra y otra fauna del suelo que se alimentan de los residuos superficiales crean canales que favorecen la infiltración. Las lombrices de tierra, a su vez, responden a la forma de colocación de los residuos. Los abresurcos que causan disturbio mínimo y que dejan o recolocan los residuos sobre la ranura favorecen la colonización por parte de las lombrices en la zona de la ranura, lo cual incrementa la infiltración.

Los abresurcos que causan el máximo disturbio pueden matar las lombrices que se encuentran en las inmediaciones. Cuanto más ancho y severo es el disturbio –especialmente si está involucrado algún mecanismo de abresurcos movidos por la toma de fuerza– mayor será la mortalidad de lombrices, pero las colonias cercanas de lombrices rápidamente recolonizarán las zonas afectadas.

Otros factores también contribuyen al problema. Por ejemplo, las ranuras con disturbio mínimo creadas por los abresurcos verticales de doble o triple disco compactan las paredes verticales de la ranura. Esto tiene un efecto negativo directo sobre la infiltración y el sellado así como también un efecto negativo indirecto porque las lombrices evitan las zonas compactadas.

Entretejido de los residuos

El efecto negativo más importante causado por los residuos cercanos a la zona de la ranura es el apelmazamiento dentro de la ranura (ver Capítulo 6). Los residuos descompuestos en un ambiente de suelos húmedos –y especialmente anaeróbico– producen ácido acético que puede matar las semillas y las plántulas que están en contacto con los residuos. En los suelos secos las semillas suspendidas en los residuos entretejidos tienen dificultades para llegar al agua en la fase líquida.

Todos los abresurcos para labranza cero de tipo de discos, por lo menos en algún momento, entretejen los residuos. Aún no ha sido diseñado un abresurcos que pueda manejar físicamente los residuos superficiales en surcos

estrechos sin la ayuda de los discos; la versión de discos del abresurco de ala separa físicamente las semillas del contacto directo con los residuos entretrejidos y así evita el problema. El ácido acético es rápidamente descompuesto en el suelo por las bacterias por lo que pequeñas distancias de separación son efectivas; sin embargo, todos los abresurcos de doble disco y de discos angulados, tanto inclinados como verticales, tienen problemas de entretrejido y las semillas quedan atrapadas en los residuos.

Colocación del fertilizante en bandas

La colocación del fertilizante en bandas, cerca de las semillas pero sin tocarlas, es fundamental para maximizar los rendimientos de los cultivos (Baker *et al.*, 1996; Fick, 2000). Algunos diseñadores obtienen este resultado combinando dos abresurcos en forma conjunta, lo cual incrementa el espacio entre surcos y el disturbio superficial o usan la siembra en surcos alternados; un surco de fertilizante entre dos surcos de semillas. Otros usan al mismo tiempo abresurcos separados para el fertilizante lo cual aumenta aún más el disturbio de la ranura. Existen otros abresurcos dobles (por ej., versión de discos de abresurcos de ala) que han sido diseñados a propósito sin sacrificar el espacio entre surcos o el disturbio superficial (Baker *et al.*, 1979b).

Erosión del suelo

Dado que la retención de los residuos superficiales es el mecanismo más efectivo para controlar la erosión del suelo, la abundancia de residuos que cubren la superficie después de la siembra ayudarán a controlar la erosión.

Pestes, enfermedades y alelopatía

Las predicciones hechas anteriormente sobre los posibles problemas incontrolables relacionados con las pestes y enfermedades y atribuibles a la labranza cero y a la retención

de residuos han sido exagerados y, en muchos casos, sin fundamento. En los primeros ensayos con labranza cero, los malos resultados fueron atribuidos a los exudados tóxicos de los residuos en descomposición (alelopatía). Pero las investigaciones científicas indican que verdaderos ejemplos de alelopatía que realmente afecten la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas en la labranza cero (especialmente la función de los residuos en el mejoramiento del microambiente de la ranura) han sido difíciles de identificar.

En cualquier caso, las ventajas de la retención de residuos son tan importantes que sobrepasan cualquier problema menor causado por enfermedades asociadas a los residuos o problemas que pudieran eventualmente ocurrir.

Comparaciones entre las características de los abresurcos de discos

La comparación no será completa sin examinar el proceso de selección de los diseños de los abresurcos y/o las máquinas. En este caso, se han comparado tres tipos diferentes de abresurcos de discos: la versión del abresurco de ala, los discos verticales angulados y los dobles discos.

Las comparaciones en el Cuadro 2 mostraban el riesgo de un comportamiento biológico negativo del cultivo con la versión de discos de un 11 por ciento, mientras que con el abresurco vertical angulado fue del 30 por ciento y con el doble disco del 53 por ciento. El Cuadro 20 lista las causas de estas diferencias. Los abresurcos de cincel, azada y dientes no fueron comparados porque los diseños y el comportamiento de tales abresurcos es muy variable y son afectados por las condiciones del suelo y la velocidad de operación; por lo tanto, es difícil generalizar esas dificultades.

Cuadro 20 Comparación de características seleccionadas de tres abresurcos de tipo de disco para labranza cero.

Características de los abresurcos	Versión de discos del abresurcos de ala	Abresurco de disco vertical angulado	Abresurco de doble disco
Riesgo de comportamiento inadecuado	11%	30%	53%
Descripción del abresurco	El abresurco comprende un disco vertical con muescas con dos hojas con alas horizontales y raspadores en íntimo contacto con ambos lados de los discos.	El abresurco de un solo sembrador tiene un disco vertical en ángulo con la dirección de avance. Una opción de doble sembrador tiene además abresurcos solo para fertilizantes.	El abresurco de un solo sembrador tiene dos discos a cerca de 10° en la vertical entre los discos. La versión de doble salida tiene además surcos solo para fertilizantes.
Efecto de la velocidad de avance	Las funciones no son mayormente afectadas por la velocidad de avance.	Las funciones son afectadas por la velocidad de avance en razón del ángulo (7°) de los discos en la dirección de avance.	Algunas funciones pueden ser afectadas por altas velocidades de avance (por ej., salto de las semillas).
Velocidad máxima	Puede operar a velocidades de hasta 16 km/h (10 mph).	La velocidad de avance es limitada por las condiciones, pero la velocidad máxima es menor de 16 km/h (10 mph).	Con deflectores adecuados para evitar el salto de las semillas pueden llegar a velocidades de hasta 16 km/h (10 mph).
Cobertura de las semillas	La cobertura de las semillas (Clase IV) es con residuos sobre el suelo; los experimentos científicos han demostrado que es superior a todas las otras formas de cobertura. No hay compactación de las ranuras.	La cobertura de las semillas se obtiene sobre todo con suelo suelto, pero la función de cobertura es muy dependiente de la velocidad (Clases I-III).	A menudo la cobertura es difícil o imposible de obtener a causa de la forma de cuña de la ranura en forma de V. Pueden ser de ayuda prediscos ondulados (Clases I-III).
Compactación de las ranuras		La compactación de las ranuras ocurre solo de un lado.	Fuerte compactación de las ranuras en ambos lados.
Fricción de las ranuras	Cualquier fricción en la ranura permanece húmeda y, por lo tanto, no tiene consecuencias.	La mayor parte de la fricción permanece húmeda y, por lo tanto, no tiene consecuencias.	La fricción en la ranura es común y su secado es difícil de prevenir; puede formar una costra en la ranura, lo cual es peor.
Residuos superficiales sobre la ranura	Retiene el 70-90% de los residuos superficiales.	Tiende a empujar los residuos hacia un lado en lugar de volverlos a colocar. Las altas velocidades empujan los residuos aún más lejos.	Puede retener el 70% de la cobertura superficial de residuos excepto en los suelos pegajosos, cuando la retención de residuos disminuye.

(continúa)

Cuadro 20 Comparación de características seleccionadas de tres abresurcos de tipo de disco para labranza cero. (*Continuación*).

Características de los abresurcos	Versión de discos del abresurcos de ala	Abresurco de disco vertical angulado	Abresurco de doble disco
Humedad de vapor	Retiene el máximo de la humedad del vapor en la zona de las semillas.	Retención mediana del vapor si la cobertura de la ranura es con suelo suelto (Clase III).	Escasa retención de humedad del vapor.
Entretrejido de los residuos	Crea residuos entretrejidos pero las semillas están efectivamente separadas de los mismos por lo que no tienen consecuencias.	Crea entretrejidos y, dado que las semillas quedan atrapadas en los mismos, afecta la germinación en suelos secos y húmedos.	Crea entretrejidos y, dado que las semillas quedan atrapadas en los mismos, afecta la germinación en suelos secos y húmedos.
Emergencia de las plántulas	Alta emergencia de plántulas, casi sin relación con las condiciones climáticas o de suelo.	La emergencia de las plántulas depende de condiciones favorables de clima y suelos.	La emergencia de las plántulas es altamente dependiente de condiciones favorables de clima y suelos.
Fracaso de los cultivos	Bajas probabilidades de fracaso de los cultivos.	Posibilidades medias de fracaso de los cultivos.	Alta probabilidad de fracaso de los cultivos.
Rendimiento de los cultivos	Siempre produce rendimientos superiores a la labranza y a otros abresurcos para labranza cero.	Requiere versión de doble sembrador para producir los mejores rendimientos pero los agricultores no confían en la misma.	Produce cultivos aceptables en condiciones favorables pero los rendimientos están limitados por la incapacidad de tener fertilización en bandas.
Demora de la emergencia	La emergencia de las plántulas no es demorada por la recobertura con suelo en los suelos plásticos húmedos ya que las plántulas emergen por el surco dejado por el disco vertical.	La emergencia de las plántulas no es afectada por el recubrimiento de suelo, pero la exposición de las semillas puede ser un problema.	La emergencia de las plántulas no es restringida pero la desecación y el daño de las aves a las plántulas expuestas puede ser un problema.
Fertilización en bandas	Un abresurcos compacto es utilizado para colocar las semillas y el fertilizante.	El doble tubo de descarga de semilla y fertilizante requiere un abresurcos complejo o duplicar el abresurcos. Aumenta la complejidad y espacio ocupado por cada abresurcos compuesto y estimula a los agricultores a hacer solo la mitad del trabajo comprando la opción más económica de un solo tubo de descarga.	No existen abresurcos de doble tubo. Por lo tanto, los abresurcos duplicados son la única opción, con los mismos problemas que los abresurcos de discos angulados.

Espaciamiento en el surco	Puede ser organizado en surcos de solo 140 mm (5 pulgadas). Eficiente en laderas.	La distancia mínima de la versión de doble tubo es 190 mm (7,5 pulgadas). Ineficiente en laderas debido al ángulo del disco.	No existe la opción de doble tubo. El espacio mínimo del tubo es de 120 mm (4,72 pulgadas). Eficiente en laderas.
Operación en laderas	Eficiente en suelos labrados y con labranza mínima.	Eficiente en suelos labrados y con labranza mínima.	Eficiente en suelos labrados y con labranza mínima.
Labranza previa	Todos los pivotes móviles usan cojinetes sellados con un tiempo de servicio sin problemas.	La mayoría de las versiones usan muchos pivotes simples que tienen vida limitada.	La mayoría de las versiones usan muchos pivotes simples con una vida limitada.
Reparaciones y desgaste	Los émbolos hidráulicos individuales en cada abresurco aseguran una fuerza de penetración consistente que se puede variar al infinito durante la marcha desde el puesto del operador y ser automatizada para ajustar a la dureza del suelo.	La mayoría tienen resortes para fuerza de penetración con regulación; cada regulación cambia su fuerza de penetración por elongación o contracción.	La mayoría tienen resortes para fuerza de penetración con regulación; cada regulación cambia su fuerza de penetración por elongación o contracción.
Fuerza de penetración	Las ruedas compresoras-medidoras están colocadas cerca de la zona de las semillas.	En algunos modelos las ruedas reguladoras están colocadas a lo largo de la zona de las semillas.	Las ruedas reguladoras algunas veces están colocadas detrás de la zona de las semillas pero en otras versiones están a lo largo de la zona de las semillas.
Profundidad del medidor	Excelente control de profundidad del abresurco; eficiente siembra en contorno y en suelos variables.	Los resortes limitan el control de profundidad del abresurcos, especialmente en la siembra en contorno y en los cambios de superficie; una buena ubicación de las ruedas reguladoras favorece su trabajo.	Control limitado de profundidad del abresurco especialmente en la siembra en contorno y en cambios de superficie.
Control de profundidad	El control electrónico de la rueda de compactación de la huella permite que la fuerza penetración sea alterada durante la marcha en respuesta a cambios en la dureza del suelo.	La fuerza de penetración no puede ser cambiada en movimiento.	La fuerza de penetración no puede ser cambiada en movimiento.

(continúa)

Cuadro 20 Comparación de características seleccionadas de tres abresurcos de tipo de disco para labranza cero. (*Continuación*).

Características de los abresurcos	Versión de discos del abresurcos de ala	Abresurco de disco vertical angulado	Abresurco de doble disco
Rango de la fuerza de penetración	El rango normal es de 0-500 kg.	La mayoría de los diseños tienen un rango de fuerza de penetración de 0-250 kg.	La mayoría de los diseños tienen un rango de fuerza de penetración de 0-250 kg.
Fuerza de penetración máxima	Hay émbolos de alta fuerza de penetración hasta 1 100 kg para abresurcos que operan en las huellas de las ruedas de los suelos compactables.	No existen abresurcos con alta fuerza de penetración.	No existen abresurcos con alta fuerza de penetración.
Ajustes de los abresurcos	Hay solo dos ajustes operativos en cada abresurcos, ninguno de los cuales es sujeto a desgaste y uno de ellos en la cabina del tractor.	Son necesarios ajustes operativos, muchos de los cuales son afectados por el desgaste y requieren desmontarlos del tractor.	Los principales cambios operativos son el cerrado de las ruedas y la fuerza de penetración.
Ajuste de los discos para penetración	El eje de los discos puede estar ubicado en tres posiciones diferentes lo que minimiza la fuerza de penetración necesaria especialmente en suelos duros y pedregosos.	El(los) disco(s) están ubicado(s) en una posición fija.	Los discos están ubicados en una posición fija.
Capacidad de operación	Se requieren capacidad personal y nivel de capacitación medios. La supervisión que hace el sistema electrónico protege el trabajo de los errores de los operadores sin experiencia.	El nivel de competencia depende de que los operadores adquieran experiencia en todas las condiciones que puedan presentarse, a fin de que adopten los ajustes correctos. Por lo tanto, un trabajo bien terminado es altamente dependiente de las habilidades adquiridas por el operador.	Requiere una capacidad media de operación. El diseño simple requiere menos ajustes que los discos angulados pero reduce su adaptabilidad comparado con cualquier otro abresurcos.
Evaluación científica	Los fabricantes aducen abundante validación científica.	Los fabricantes aducen poca o ninguna validación científica.	Las pruebas científicas de este abresurcos han sido en su mayoría negativas.

Resumen de la comparación del disturbio de la superficie y de los abresurcos de discos para bajo disturbio

1. Es posible satisfacer el doble objetivo de minimizar el disturbio de los residuos superficiales y al mismo tiempo maximizar el comportamiento de las semillas, las plantas y el cultivo con las técnicas y los equipos modernos para labranza cero.
2. No todos los abresurcos que causan un disturbio mínimo crean condiciones óptimas para los rendimientos de los cultivos pero todos los abresurcos que causan el máximo disturbio reducen la efectividad del control de la erosión y el mejoramiento del suelo ofrecido por la labranza cero.
3. El disturbio mínimo de la ranura es un objetivo de la labranza cero pero dando también amplia consideración a otros varios requisitos para el establecimiento del cultivo.
4. Las ranuras horizontales en forma de T invertida proporcionan una buena cobertura de la ranura con un disturbio mínimo de los residuos (Clase IV); las ranuras en forma de V proporcionan una cobertura pobre de las ranuras y un pobre manejo de los residuos (Clase I).
5. Las ranuras de disturbio mínimo no necesariamente crean microambientes favorables en las ranuras, salvo cuando son adecuadamente cubiertas con suelo y residuos; las ranuras horizontales de disturbio mínimo deben crear rápidamente microambientes favorables en la ranura mientras que las ranuras verticales para disturbio mínimo no lo hacen y las ranuras con máximo disturbio crean microambientes en la ranura similares a las del suelo labrado.
6. Es probable que las ranuras para disturbio mínimo pierdan algo menos de dióxido de carbono que las ranuras para disturbio máximo.
7. La cantidad de residuos de cobertura sobre la ranura tiene un efecto mínimo a largo plazo sobre el contenido de humedad líquida; las ranuras de menor disturbio atrapan vapor de agua mientras que las ranuras libres de residuos se calientan más rápido en primavera.
8. Es posible tener un mínimo disturbio de los residuos y la máxima germinación de las semillas.
9. No siempre es deseable o necesario sacrificar el disturbio de los residuos para favorecer la emergencia de las plántulas; dependiendo del diseño del abresurcos y de las condiciones climáticas pueden, en realidad, tener el efecto contrario.
10. El disturbio de la ranura en sí mismo no es necesariamente un buen indicador del contacto suelo-semilla; la entidad del disturbio de los residuos tiene poco efecto sobre el contacto suelo-semilla.
11. Algunos, pero no todos, los abresurcos que disturban los residuos pueden favorecer un crecimiento precoz de las raíces; las restricciones de algunos abresurcos de disturbio mínimo pueden ocurrir con condiciones desfavorables.
12. Siempre que la compactación no sea un problema importante, la mayoría de las ranuras de disturbio mínimo favorecen la actividad de las lombrices de tierra y así incrementan la infiltración en comparación con las ranuras de disturbio máximo; en ausencia de lombrices, las ranuras con disturbio máximo pueden tener una mayor infiltración que las mejores ranuras de disturbio mínimo.
13. Todos los abresurcos sin discos, especialmente aquellos asociados con el mayor disturbio de residuos, evitan los problemas del entretendido en el manejo de los residuos; la mayoría de los abresurcos

de discos, excepto aquellos que crean ranuras horizontales, presentan problemas de entretejido de los residuos.

14. Algunos sembradores para labranza cero que colocan el fertilizante en bandas son menos capaces de reducir al mínimo los residuos que provoca el disturbio de la tierra, o de sembrar en surcos estrechos, o ambas cosas; pero hay excepciones importantes tales como la versión de discos de los abresurcos de ala.
15. En el sistema de labranza se debe asegurar que los residuos superficiales estén bien distribuidos y sean mínimamente disturbados.
16. El menor disturbio de los residuos superficiales en la zona de las ranuras tendrá un efecto positivo mayor sobre las semillas, las plántulas y el comportamiento del cultivo que los efectos negativos de los patógenos y la alelopatía.
17. Los abresurcos de tipo de discos varían ampliamente en sus diseños específicos, los cuales a su vez afectan sus funciones biológicas, incluyendo el disturbio de las ranuras.

12

Labranza cero para producción de forraje

C. John Baker y W. (Bill) R. Ritchie

El establecimiento y/o renovación de las especies forrajeras es un caso especial de labranza cero que requiere técnicas y manejo adicionales.

Las pasturas y otros cultivos forrajeros proporcionan alimentos para los animales en países, regiones o épocas en las cuales la producción animal es rentable. En algunos casos los animales pastan libremente, a menudo durante todo el año. En otros casos, los cultivos forrajeros son cosechados para almacenar o para ser dados a animales estabulados, al menos durante una parte del año. Muchas de las especies forrajeras del mundo son especies nativas que se resiembran por sí solas en zonas de pastoreo extensivo y han sobrevivido en los ecosistemas a los que están adaptadas. Sin embargo, la mayoría de esas especies tienen una producción pobre de alimentos, tanto en calidad como en cantidad.

En las pasturas mejoradas de los países templados se han sembrado especies genéticamente superiores y, junto con el uso razonable de los fertilizantes y el manejo del pastoreo rotativo, han llevado a un mejoramiento significativo de la productividad animal. Sin embargo, al pasar el tiempo, algunas de esas pasturas mejoradas han retrogradado lentamente a las especies originales menos productivas lo que ha requerido, por lo tanto, una renovación intermitente con especies mejoradas. En otros

casos, el continuo mejoramiento genético de las especies forrajeras ha llevado a su introducción en sistemas permanentes de pastoreo para mejorar el rendimiento animal, regular la producción estacional y reparar los daños de las pestes, las inundaciones, las sequías y la mortalidad natural.

Se expondrá separadamente la siembra de especies forrajeras y de especies para pastoreo ya que, si bien a menudo están integradas en un solo sistema, se manejan en forma separada.

Especies forrajeras

Los cultivos forrajeros son similares a los cultivos de cereales en lo que se refiere a sus requisitos para la labranza cero, excepto que las especies forrajeras, por lo general, tienen semillas pequeñas que requieren un preciso control de profundidad de los abresurcos. Muchas especies de *Brassica* son usadas como forrajes junto con gramíneas, leguminosas y otras especies herbáceas, todas las cuales requieren una siembra poco profunda. Pero también son usados para ensilaje varios cereales que tienen una mayor tolerancia a la profundidad de siembra.

Un problema común es que los agricultores generalmente aprecian sus cultivos forrajeros en menor grado que otros cultivos, como los

de cereales, presumiblemente porque el retorno comercial de los cultivos forrajeros es derivado indirectamente de la producción animal y no directamente de la cosecha inmediata de granos o fibras. Cuando un cultivo forrajero fracasa, a menudo hay una alternativa forrajera cercana que puede ser usada para compensar la alimentación de los animales o, en el peor de los casos, es posible vender los animales para reducir la demanda de forraje. En contraste con esto, cuando un cultivo de cereales fracasa, esta fuente de ingresos está irremediablemente perdida y no puede ser reemplazada. Por esta razón, parece que los ganaderos aceptan de mejor grado los cultivos forrajeros en el sistema de labranza cero, en oposición a los agricultores. Incluso aquellos que integran la producción animal y los cultivos de cereales ponen menos valor en los cultivos forrajeros que en los otros cultivos, probablemente porque los últimos, por lo general, generan la mayor parte de los ingresos de la finca.

Más aún, dado que las pasturas son cortadas o pastoreadas regularmente, las diferencias entre las plantas son más difíciles de identificar a simple vista. Como consecuencia, el establecimiento de pasturas es menos preciso en la etapa de la siembra, cuando debería ser al contrario.

Sin embargo, esta situación está cambiando. Por ejemplo, los ganaderos en Nueva Zelanda encuentran que es posible intensificar la producción animal usando la labranza cero «que no falla» y que compite con los cultivos de cereales, tanto en el retorno por hectárea como en los riesgos.

Los animales a menudo son criados en base a especies forrajeras permanentes, por lo general de pasturas caracterizadas por ciclos no uniformes de crecimiento anual. La producción y calidad máximas del forraje ocurren en los meses cálidos y húmedos mientras que la producción y calidad mínimas ocurren en los meses fríos y/o secos. El manejo de los sistemas de producción animal que confían en ese abastecimiento de alimentos está constante-

mente limitado por los meses de menor productividad. A menudo esto requiere el uso de suplementos de alimentos, ya sea comprados o ahorrados como ensilaje o heno durante los meses más productivos.

Sin embargo, es posible llegar a un nuevo nivel de productividad reemplazando las especies forrajeras permanentes con especies altamente productivas, de rotaciones cortas que se resiembran al menos una vez y a veces hasta dos veces por año, y son seleccionadas de acuerdo a su adecuación al crecimiento en períodos específicos o a los requisitos alimenticios anuales de los animales. Algunas son tolerantes al frío, otras son tolerantes a la sequía y otras producen una cantidad de alimentos adecuada a etapas particulares del crecimiento de los animales. Existen prácticamente infinitas combinaciones que pueden ser modificadas de acuerdo a las necesidades.

Sin embargo, todas las alternativas dependen de la disponibilidad de técnicas y sistemas de labranza cero «que no fallan». Tales sistemas de producción de forraje no pueden ser obtenidos por medio de la labranza porque pocos suelos productivos pueden soportar la labranza continua una o dos veces por año; en estas condiciones los suelos se deterioran rápidamente, quedan en condiciones imposibles de manejar y su utilización por los animales es prácticamente nula.

Si bien la calidad y la cantidad y, por lo tanto, la productividad de las rotaciones cortas de especies forrajeras cultivadas en los regímenes de labranza cero son superiores a aquellas de las pasturas permanentes, el nuevo sistema pone gran presión sobre la capacidad de la labranza cero y de los correspondientes equipos para obtener los máximos rendimientos de los cultivos en cada cultivo sucesivo.

Dado que los cultivos forrajeros se establecen por lo menos una o dos veces por año constituyen un sistema de altos insumos y alta producción; algunos ganaderos que aplican este sistema han triplicado el número anual de animales para la faena. Ganancias de los

corderos y del ganado de carne en pastoreo de 400 y 1 000 g diarios, respectivamente, son comunes en animales alimentados *in situ* con un abastecimiento continuo de forraje de rotaciones cortas en labranza cero.

Una variación de este sistema son los cultivos para ensilar en rotación corta y los cultivos para la venta inmediata en vez del pastoreo directo por los animales. En algunos sistemas, los animales nunca entran en el campo; esto limita la elección de las especies a aquellas que pueden ser convertidas en heno o ensilaje, pero de cualquier manera el sistema es totalmente dependiente de la labranza cero.

Sistemas integrados

La diversificación óptima consiste en integrar en un sistema la producción animal y la producción de cultivos anuales. Esta es una práctica común en los países en los cuales las condiciones climáticas permiten el pastoreo animal directo durante todo el año. Un esquema típico es la producción de uno o más cultivos anuales durante las épocas más productivas del año mientras que los cultivos forrajeros son cultivados y pastoreados entre esos períodos o dados a los animales por medio del forraje cortado. En algunos climas se pueden obtener hasta tres cultivos integrados por año.

Cuando no existe la posibilidad de la labranza cero esos sistemas intensivos no contribuyen favorablemente a la estructura del suelo y la labranza demora las siembras. Por esta razón, las rotaciones típicas basadas en la labranza incluyen un período permanente de pasturas con el objetivo de reparar el daño hecho a la estructura del suelo causada por la labranza anterior y dejando el suelo expuesto a los próximos procesos destructivos de labranza.

La labranza cero cambia todo este panorama al permitir el cultivo continuo de forrajes o cultivos de grano que pueden tener lugar

casi indefinidamente sin producir cambios substanciales en la estructura del suelo. En este caso, las rotaciones no están limitadas por la necesidad de una fase de mejoramiento por medio de las pasturas y pueden ser seleccionadas por los valores relativos de los cultivos.

La Lámina 80 es un ejemplo de dos cultivos de rábanos de verano (*Brassica* spp.), uno de ellos establecido bajo el sistema de labranza convencional y el otro en su sistema de labranza cero en un suelo ligeramente orgánico y pastoreados directamente todos los días por el ganado. La diferencia en el daño del suelo es clara.

Por supuesto que un tiempo muy húmedo y fuertes concentraciones de ganado pueden dañar eventualmente la tierra bajo labranza cero. El problema entonces consiste en: «¿Cuán serio debe ser el daño antes de justificar alguna forma de labranza?». La Lámina 81 muestra un suelo severamente dañado por el paso reiterado de los animales en un camino cuando el suelo estaba húmedo. El daño a este suelo está cerca del límite superior que los abresurcos de ala, de azada o los discos angulados para labranza cero podrían reparar sin la necesidad de herramientas de labranza. El resultado de una sola pasada de la versión de disco del abresurco de ala se observa en el lado izquierdo. Los abresurcos de doble o triple disco no pueden trabajar bien en esa superficie dañada porque tienen un efecto nivelador menor a medida que pasan sobre el suelo.

El daño superior que se muestra en la Lámina 81 se repara mejor con una rastra de dientes poco profunda o con una rastra de dientes rotatorios, que arrastran o empujan la superficie del suelo en los huecos en lugar de invertir el suelo. Un pisoteo más severo también puede compactar las capas superficiales, hasta cerca de 300 mm de profundidad del perfil del suelo. En este caso se recuperan con un subsolador con dientes angostos verticales o con un barrido que deja la superficie del suelo razonablemente nivelada para poder



Lámina 80 Dos cultivos de rábanos sembrados con discos angulados y pastoreados diariamente *in situ* por ganado lechero en Nueva Zelandia. La parte superior de la lámina muestra a la derecha el daño del pisoteo de los animales al suelo arado comparado con el suelo no labrado en el lado izquierdo. La parte inferior de la lámina muestra tomas cercanas de las respectivas superficies de suelos. Notar que la superficie del suelo bajo labranza cero (izquierda) no ha sido rota mientras que el suelo labrado (derecha) ha sido sensiblemente removido.



Lámina 81 Suelo severamente dañado por las pezuñas de los animales que está cerca del límite que puede ser reparado por una sola pasada de la versión de disco del abresurco de ala (izquierda).

aplicar nuevamente la labranza cero sin necesidad de otra nivelación adicional.

Cuando se integran la producción animal y la de cultivos anuales es común tomar decisiones de última hora entre la siembra de uno o más cultivos anuales o de especies forrajeras según las expectativas de los retornos relativos esperados de cada uno de ellos. Tal flexibilidad es posible solamente si las decisiones de última hora para el establecimiento de los cultivos se basan en la labranza cero. La labranza cero proporciona la flexibilidad que permite trabajar con sistemas totalmente integrados de producción animal y de cultivos anuales.

Los cultivos anuales algunas veces son rotados con pasturas en los casos en que la tierra es retirada del cultivo para permitir el restablecimiento de las pasturas nativas y/o especies arbustivas bajas por períodos de 10 años o más, a fin de proteger el suelo de la erosión o reducir la producción agrícola. Sin embargo, es posible que, con la demanda mundial de alimentos en continua expansión, esas tierras en descanso muy probablemente vuelvan a ser cultivadas con especies anuales. Cuando esto ocurra, será más importante que antes retener la sostenibilidad del suelo, la cual, en muchos casos, se habrá recuperado desde que se inició el proceso de su retiro aplicando las técnicas de labranza cero desde el principio. Esto significa aprender a sembrar en un terreno que nunca ha sido trabajado.

Especies de pasturas para labranza cero

En algunas circunstancias, cuando se siembran especies para pastoreo, no es adecuado eliminar todas las especies competidoras. Si las especies competidoras son otras gramíneas deseables y no son destruidas, el proceso se conoce como «regeneración de pasturas». En otros casos, sí es necesario eliminar todas las especies existentes y si las nuevas especies que

se siembran también son pasturas, el proceso de conoce como «renovación de pasturas».

Regeneración de pasturas

Una cuarta parte de la superficie del globo, alrededor de 3 000 millones de hectáreas, son tierras de pastoreo (Kim, 1971; Brougham y Hodgson, 1992). La regeneración y el establecimiento de este valioso recurso requiere un esfuerzo considerable que puede ser fortalecido con prácticas de labranza cero.

Las pasturas son tradicionalmente regeneradas ya sea para mejorar la productividad de la vegetación existente (por ej., arbustos, monte bajo, gramíneas nativas o pasturas introducidas) o para reemplazar un cultivo anual cosechado con una pradera para pastoreo. El objetivo puede ser establecer una pastura permanente de larga duración o una pastura con una sola especie, incluida la alfalfa, o una pastura mezclada de varias especies de gramíneas y/o leguminosas compatibles, tales como diferentes tréboles o trébol pata de pájaro. Otro objetivo puede ser establecer una pastura temporaria de corta duración –por lo general de una sola especie– para utilizar la tierra entre cultivos anuales sucesivos.

No todas las pasturas son pastoreadas directamente por los animales. Muchas son cosechadas a máquina o manualmente y ofrecidas a los animales ya sea directamente o como grano, ensilaje o heno, o son cortadas regularmente para mantenerlas bajas (por ej., campos deportivos). Esto tiene importancia para elegir el método adecuado para su establecimiento. Por ejemplo, si una pastura será pastoreada directamente por el ganado, las plantas jóvenes pueden dañarse por el pisoteo o ser arrancadas. En este aspecto la labranza cero ofrece claras ventajas sobre la labranza común porque la estabilidad de los suelos sin labrar resiste el daño del pisoteo y proporciona un mejor anclaje de las raíces que los suelos labrados. Hasta el momento no se han encontrado diferencias

entre los abresurcos para labranza cero en la resistencia al arrancado durante el pastoreo (Thom *et al.*, 1986).

Cuando las pasturas se cortan mecánicamente, el daño del arrancado es mínimo. El daño superficial al suelo puede ser causado por el tráfico de vehículos pesados en condiciones húmedas. En este caso, la mejor estructura del suelo obtenida con la labranza cero ofrece ventajas significativas sobre la labranza común.

El mayor problema encontrado con la regeneración de las pasturas por medio de la labranza cero es satisfacer los requisitos de las semillas de muchas especies respecto a la profundidad de siembra y al microambiente para su germinación. Las gramíneas de establecimiento rápido como los raigrases son por lo general tolerantes a las profundidades de siembra de 5 a 30 mm, pero fuera de este rango reducen su germinación. Las especies más sensibles en su establecimiento tales como la alfalfa, los tréboles y algunas gramíneas son menos tolerantes a las profundidades inadecuadas de siembra, y prefieren un rango menor, de 5 a 15 mm.

En un suelo labrado, es relativamente fácil de alcanzar un rango estrecho de tolerancia a la profundidad porque el suelo ha sido previamente preparado para una consistencia física uniforme y es fácilmente penetrado por los abresurcos sembradores. Una siembra precisa en profundidad en un suelo labrado prefiere el uso de abresurcos de tipo flotante (tales como el abresurco en aro en V rodante) que son inadecuados para trabajar en tierras preparadas bajo el sistema de labranza cero a causa de la mayor densidad del suelo sin labrar.

Los abresurcos para labranza cero para la regeneración de pasturas necesitan, por lo tanto, mecanismos para el control de la profundidad y el seguimiento de la superficie y deben ser capaces de crear un microambiente dentro de la ranura en los primeros 10 a 15 mm del suelo. Estas exigencias son difíciles de satisfacer.

La elección de sembrar pasturas en surcos comparada con la siembra a voleo seguida por una rastreada ha sido discutida en razón de que el objetivo es utilizar todo el espacio disponible de la tierra. Con la labranza cero la siembra a voleo casi invariablemente da lugar a un mal establecimiento porque los suelos sin labrar ofrecen poco suelo suelto o residuos para cubrir las semillas con una rastra. El pisoteo de las semillas por el ganado no sustituye una colocación correcta hecha por un abresurco sembrador. De cualquier manera, cuando es imposible trabajar con los abresurcos sembradores como en laderas pronunciadas o en campos deportivos, se puede sembrar por avión, a mano o con máquinas livianas con resultados aceptables siempre que las semillas se hayan pildorizado y/o se aumente la densidad de siembra para compensar la mortalidad.

Espacio entre surcos

Cuando es posible utilizar exitosamente abresurcos para labranza cero (o sea, los tractores pueden tener acceso a la tierra), el debate cambia a cuáles son las distancias entre surcos más deseables y cuál es el momento adecuado para la siembra. El diseño común y las limitaciones de espacio de las sembradoras proporcionan prácticamente un espacio estrecho de cerca de 75 mm con un espacio mayor de 300 mm en los climas secos para especies forrajeras con hábitos rastreros o para la producción de forraje.

Las investigaciones en Nueva Zelandia con una especie de instalación rápida como el raigrás (Inwood, 1990; Thom y Ritchie, 1993; Praat, 1995) mostraron ninguna o poca diferencia entre: i) siembra con una sola pasada de abresurcos de ala en surcos a 150 mm; ii) siembra con una sola pasada con los mismos abresurcos a 75 mm entre surcos, y iii) siembra cruzada en surcos a 150 mm con los mismos abresurcos. En el último caso, se hicieron dos pasadas a aproximadamente 30°

sembrando la mitad de la semilla en cada una de las pasadas (Thom y Ritchie, 1993).

Los resultados del Cuadro 21 (Praat, 1995) muestran que una especie de establecimiento lento como la festuca alta (*Festuca arundinacea*) inicialmente se benefició de los surcos angostos (75 mm) como resultado de una menor población de malezas. La siembra cruzada no tuvo beneficios a largo plazo en el espaciamiento de 150 mm, posiblemente porque las ganancias causadas por un menor espacio entre las plantas fueron superadas por el mayor estímulo a la germinación de las semillas de malezas en la segunda pasada de la sembradora.

La siembra de festuca alta con una sola pasada en surcos a 75 mm produjo un crecimiento mayor en cinco meses que la siembra en una sola pasada a 150 mm, pero no fue significativamente diferente de la siembra cruzada en surcos a 150 mm. Los últimos dos tratamientos no fueron significativamente diferentes entre ellos. La ventaja encontrada en los surcos a 75 mm a los cinco meses no se repitió con la siembra de raigrás. Durante 23 meses no hubo diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos de las sembradoras o de las especies.

Dado que las únicas diferencias se encontraron en las etapas tempranas del crecimiento de las pasturas y después solo con especies de crecimiento lento, se prefiere la opción de una sola pasada a 150 mm entre surcos por-

que es más económica, tanto en términos de modelo del abresurcos como de gastos operativos. Una ventaja adicional es que la mayoría de los abresurcos para labranza cero pueden también ser usados para la siembra de cereales, leguminosas alimenticias, oleaginosas y especies forrajeras.

En climas templados de inviernos húmedos las pasturas y los campos deportivos se renuevan a menudo en otoño por medio de la labranza, ya que las malezas son más fácilmente controladas que en primavera y la humedad del suelo después de la siembra es probable que sea más confiable que en los períodos más cálidos del verano. Sin embargo, con la labranza cero, la disponibilidad de herbicidas y la reducción del estímulo físico de las semillas latentes de malezas, se eliminan en gran parte las desventajas de la germinación en primavera.

Más aún, la humedad conservada por la labranza cero reduce el riesgo de la siembra de nuevas pasturas y campos deportivos en los suelos secos del verano. Estos factores han llevado a más siembras de primavera de nuevas pasturas y campos deportivos que usan la labranza cero en lugar de la labranza común, si bien la mayoría de tales praderas aún son sembradas en otoño.

Incluso en otoño, el debate acerca la distancia entre surcos se ha centrado en la capacidad de las pasturas para producir tallos más rápidamente y difundirse para ocupar la tierra desnuda de forma que compitan con la

Cuadro 21 Producción de pasturas en labranza cero en surcos a diferentes distancias, rendimiento en kg/ha de materia seca en el momento de la muestra después de la siembra.

Tratamiento	5 meses después de la siembra		23 meses después de la siembra	
	Raigrás	Festuca alta	Raigrás	Festuca alta
Surcos a 75 mm, una pasada	1 893a	2 066a	1 399a	1 827a
Surcos a 150 mm, una pasada	1 911a	1 525b	1 449a	1 734a
Surcos a 150 mm, siembra cruzada	2 196a	1 826ab	1 453a	1 711a

Nota: Letras distintas después de los datos en la misma columna denotan diferencias significativas ($P = 0,05$).

germinación de las malezas naturales entre los surcos. Los datos en el Cuadro 22 (Praat, 1995) muestran los resultados de la siembra de raigrás y festuca alta en otoño con labranza cero en un suelo aluvial joven que contenía una alta población de malezas.

Solamente el tratamiento de dos pasadas cruzadas usando abresurcos de ala incrementó la germinación de las semillas de malezas y el crecimiento en comparación con la siembra en una sola pasada en surcos separados 75 y 150 mm. Aún así, estas diferencias, (aproximadamente un 20 por ciento) ocurrieron solo en

los primeros cinco meses después de la siembra; después no hubo diferencias significativas entre los métodos de siembra.

Por otro lado, los datos en el Cuadro 23 (Hamilton-Manns, 1994) muestran una clara tendencia a la disminución del crecimiento de las malezas en la siembra de otoño e inicios del invierno, usando las mismas especies de pasturas, sembradas en una sola pasada con abresurcos de ala para labranza cero en surcos a 150 mm y en un suelo similar.

En la siembra más temprana hubieron el doble de malezas en la pastura de festuca alta (10,7

Cuadro 22 Efectos del método de siembra en labranza cero sobre la composición de las especies de la pradera en kg/ha de materia seca en el momento del muestreo.

	5 meses después de la siembra		23 meses después de la siembra	
	Gramíneas y trébol	Malezas	Gramíneas y trébol	Malezas
Surcos a 75 mm, una pasada	902a	531a	2 086a	119a
Surcos a 150 mm, una pasada	835a	545a	2 146a	125a
Surcos a 150 mm, siembra cruzada	796a	675b	2 123a	178a

Nota: Letras distintas después de los datos en la misma columna denotan diferencias significativas ($P = 0,05$).

Cuadro 23 Efecto de la época de siembra sobre la proporción de malezas en una pastura en labranza cero.

Época de siembra	Especies forrajeras sembradas	Porcentaje de malezas presentes 70 días después de la siembra	Porcentaje medio de malezas en ambas especies
Otoño temprano	Raigrás	4,5b	7,6a
	Festuca alta	10,7a	
Otoño medio temprano	Raigrás	4,8b	4,8b
	Festuca alta	4,9b	
Otoño medio	Raigrás	3,4b	3,7b
	Festuca alta	3,6b	
Otoño tardío	Raigrás	0,6c	1,3c
	Festuca alta	2,0c	
Invierno temprano	Raigrás	1,1c	1,4c
	Festuca alta	1,8c	

Nota: Letras distintas después de los datos en la misma columna denotan diferencias significativas ($P = 0,05$).

por ciento) comparada con la pastura de raigrás (4,5 por ciento) porque el establecimiento más lento de la festuca alta requirió más tiempo para colonizar los espacios entre los surcos. Después de ello no hubo diferencias entre las dos pasturas en lo que se refiere a las malezas. A medida que avanzó el frío en la estación (de temprano en el otoño a temprano en el invierno), el porcentaje de malezas en ambas pasturas declinó consistentemente de un promedio del 7,6 por ciento al 1,3-1,4 por ciento, lo que refleja el incremento de condiciones menos favorables para la germinación de las semillas de malezas.

En el total de la producción de las pasturas en Nueva Zelanda, Hamilton-Manns (1994) también encontró un mayor potencial de rendimiento en las siembras del inicio del otoño (marzo) que a inicios del invierno (junio) siempre que hubiera suficiente humedad en el suelo para favorecer el desarrollo temprano de las plántulas. Esto ocurrió tanto en el caso de especies de establecimiento rápido como el raigrás o de especies de establecimiento lento como la festuca alta. Las siembras más tempranas y las temperaturas más altas favorecieron el desarrollo de tallos de esas especies, si bien también hubo un incremento –manejable– del problema de las malezas.

La retención de los residuos de cultivos de un cultivo cosechado en el verano o el barbecho de la tierra en la primavera aplicando herbicida a la pastura anterior contribuyen a superar los problemas potenciales de las malezas y el bajo nivel de humedad del suelo al principio del otoño para la siembra de nuevas pasturas con labranza cero. En climas templados, la retención de residuos durante el invierno puede dar lugar a un incremento de la población de lombrices de tierra (Giles, 1994).

En los climas más secos el establecimiento de nuevas pasturas en el otoño se ha hecho por medio de barbecho químico después del verano seco. Las especies residentes son controladas con herbicidas a fines de la primave-

ra cuando todavía están en crecimiento activo y son receptivas a los mismos, después de lo cual los campos quedan en descanso durante varios meses secos. Si quedan suficientes residuos como cobertura sobre la superficie de la tierra, se pierde menos humedad en comparación con las pasturas sin herbicida ya que el tratamiento con herbicidas reduce la pérdida de humedad por transpiración y evaporación. Se ha informado de ganancias de humedad de hasta 12 veces (Anónimo, 1995).

La pérdida potencial de producción de las pasturas en el verano en los climas secos es reducida y en cambio se mantiene un ambiente húmedo favorable para el establecimiento en el otoño. El control de las especies residentes es fortalecido usando un momento más oportuno a lo largo del año para la aplicación de herbicidas y, si fuera necesario, también hay una oportunidad para la aplicación otoñal de herbicidas antes de la siembra.

En los climas con lluvias estivales adecuadas, el establecimiento de las nuevas pasturas en otoño puede ser favorecido sembrando un cultivo forrajero en la primavera previa; esto proporciona no solo la oportunidad para una doble aplicación de herbicidas sino que también ofrece tiempo para que el pisoteo del ganado pueda romper las raíces de las maciegas de algunas especies nativas que crecen en situaciones de baja fertilidad.

La mayoría de estas técnicas ponen énfasis en asegurar un control a largo plazo de las especies residentes y proporcionar las mejores oportunidades en un ambiente libre de competencia en el cual las nuevas especies se puedan establecer vigorosamente.

Regeneración de pasturas

La regeneración de las pasturas, en los casos en que se pueda esperar al menos una recuperación parcial de la vegetación existente, es un requisito adicional para la siembra en labranza cero. La vegetación existente debe

ser suprimida o manejada de tal manera que no compita indebidamente con las especies introducidas. Este método de regeneración es conocido como resiembra (ver Capítulo 1).

La regeneración de las pasturas existentes puede llevarse a cabo por varias razones:

1. Para introducir especies de pasturas más productivas a largo plazo dentro de la pastura existente.
2. Para introducir especies de pasturas de corto plazo más adecuadas a una particular estación del año o comportamiento animal que las especies existentes.
3. Para reparar el daño hecho por la mortalidad natural, sequías, inundaciones, erosión, pestes, daños físicos o mal drenaje.
4. Para compensar limitaciones de manejo o fertilidad en campos, suelos o climas particulares.
5. Para capitalizar la fijación de nitrógeno hecha por las leguminosas del cultivo anterior.

La regeneración de las pasturas en labranza cero ya fue puesta en marcha antes del concepto moderno de labranza cero. Los primeros informes sobre regeneración de pasturas comenzaron a mediados de la década de 1950 (Blackmore, 1955; Cross, 1957; Robinson, 1957; Cullen, 1966; Dangol, 1968; Kim, 1971). La regeneración de los campos es posterior (Ritchie, 1988).

En la década de 1950, la razón dominante para la resiembra fue la capitalización de la fijación del nitrógeno (Robinson y Cross, 1957). La baja fertilidad de las pasturas en las laderas y las pasturas sembradas sobre arbustos quemados en suelos de cenizas volcánicas tendieron a ser dominadas por los tréboles a causa de la baja fertilidad. Sin embargo, con el pasar del tiempo, esta base leguminosa mejoró la fertilidad y los niveles de materia orgánica de esos suelos a una etapa en la que podían mantener la productividad de las gramíneas de la pastura, especialmente del raigrás. El problema era identificar

la mejor forma de introducir las nuevas gramíneas sin destruir la base de tréboles o labrar y enterrar la capa de materia orgánica de esos suelos frágiles.

Dado que el uso de herbicidas en esos momentos era relativamente nuevo y, en cualquier caso, todos los herbicidas disponibles tenían una acción residual de varias semanas de duración, la resiembra con esas máquinas se enfocó en la destrucción mecánica de las plantas existentes en un faja de hasta 50 cm de ancho con su centro en el surco de las semillas. El objetivo era proporcionar un hábitat libre de competencia para las nuevas plántulas hasta que el nuevo crecimiento eventualmente repoblara esas fajas. En ese momento, las nuevas especies introducidas serían competitivas con las especies residentes.

Aún hoy día, varios diseños de abresurcos para labranza cero para la regeneración de pasturas, por ejemplo, abresurcos movidos por la toma de fuerza y abresurcos surcadores, confían en la destrucción física antes que química para la supresión de las especies residentes y controlar en forma temporal la competencia existente.

Aplicación de herbicidas en bandas

Las investigaciones más recientes han demostrado que la remoción física de las partes vegetativas de la zona de las ranuras tiene un efecto negativo para las semillas en el microambiente de la ranura, que se siembran en condiciones discretas del suelo. Afortunadamente, la aparición de herbicidas no residuales permite una aplicación selectiva de herbicidas sobre la vegetación existente (aplicación en fajas) al mismo tiempo que la siembra con los abresurcos. Esto crea un tapiz de vegetación y al mismo tiempo suprime la vegetación competitiva. La Lámina 82 muestra un ejemplo de una pastura sembrada con aplicación de herbicidas en bandas.

La Figura 34 muestra los efectos del cambio de las varias opciones para la resiembra en comparación con las distintas formas de



Lámina 82 Efectos de la aplicación de herbicida en bandas y la siembra simultánea de pasturas.

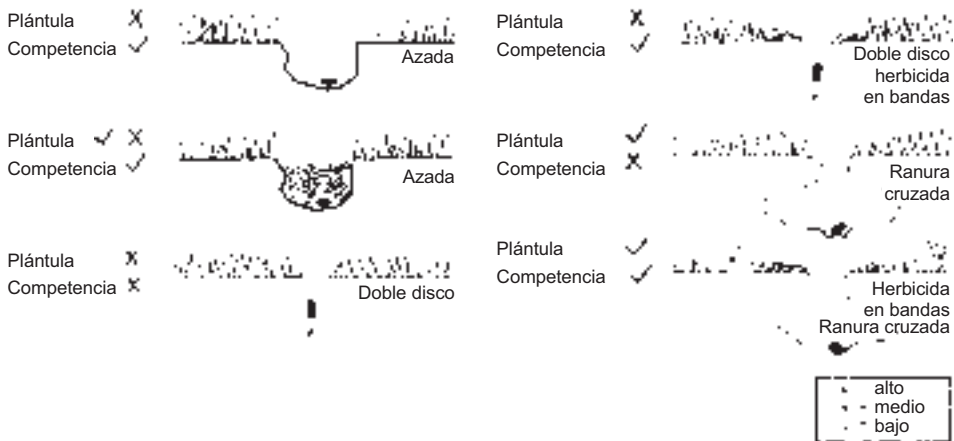


Figura 34 Factores de riesgo del control vegetativo y el control del microambiente de la ranura cuando se resiembran pasturas.

ranuras sobre la promoción de la germinación y la emergencia de las plántulas. La ilustración arriba a la izquierda muestra una ranura hecha por un abresurco de azada o de cincel, sin ninguna cobertura de la semilla. El abre-

surcos al levantar la tierra tiene un efecto positivo sobre la eliminación de la competencia y empuja físicamente las semillas hacia un lado; esto está representado en la ilustración por el símbolo ✓. Sin embargo, las ranuras

abiertas (sin cobertura) tienen un efecto negativo sobre la sobrevivencia de las plántulas (representado por el símbolo \times en la ilustración). Por lo tanto, con esta técnica existe algún riesgo de fracaso.

En el centro izquierda de la ilustración se observa que cubriendo la ranura con suelo suelto mejora la sobrevivencia de las plántulas (\checkmark y \times) y tiene un efecto positivo sobre la eliminación de la competencia; el riesgo de fracaso es menor.

En la ilustración, abajo a la izquierda, se aprecia que la ranura en forma de V sin cobertura creada por un abresurcos de doble disco tiene un efecto negativo tanto sobre la sobrevivencia de las plántulas como sobre la eliminación de la competencia; el riesgo de fracaso es alto. Sin embargo, en este caso la ausencia de un levantamiento físico del suelo permite la aplicación de herbicidas en bandas para matar la vegetación en una faja de vegetación sobre la ranura. En la parte superior de la ilustración se observa que esto tiene un efecto positivo sobre la eliminación de la competencia pero es ineficiente para mejorar la sobrevivencia de las plántulas; el riesgo de fracaso disminuye en la misma medida.

En la ilustración, en el centro derecha, se observa una ranura hecha por un abresurcos de ala. Si bien tal abresurcos podría tener un efecto positivo sobre la sobrevivencia de las plántulas, la ausencia de levantamiento físico del suelo tiene un efecto negativo sobre la eliminación de la competencia y el riesgo de fracaso es medio.

Solamente cuando se usa el herbicida en bandas junto con los abresurcos de ala la combinación tiene un efecto positivo tanto sobre la sobrevivencia de las plántulas como sobre la eliminación de la competencia, tal como se muestra en la ilustración en la parte de abajo a la izquierda. El riesgo de fracaso es bajo.

Es posible discutir cuánta vegetación es necesario o deseable suprimir para que la pastura sea lo más productiva posible como conse-

cuencia de la resiembra de especies mejoradas en la pradera existente. En un extremo de la escala está la total erradicación de todas las especies existentes (por medio de una aplicación de herbicida en cobertura total), que produce un ambiente libre de competencia en todo el campo, en el cual las nuevas especies es posible que expresen su potencial máximo de rendimiento. Sin embargo, durante el período de erradicación y establecimiento se pierde la producción de la pastura original y debe ser deducida de la producción total de la pastura en ese año o estación.

En el otro extremo de la escala no hay ningún tipo de supresión y las nuevas especies están obligadas desde el primer momento a competir con las especies existentes. La pérdida de producción es menor en razón del daño hecho por la pastura existente pero la continua competencia desde el inicio del ciclo afecta adversamente el rendimiento y el potencial de crecimiento de las especies introducidas. Entre estos dos extremos se encuentra la labranza en fajas o aplicación de herbicidas en bandas, donde una faja de vegetación es asperjada simultáneamente con la siembra de las nuevas semillas.

Las Láminas 83, 84 y 85 muestran los efectos de tres opciones de aspersión con la resiembra de raigrás. Con la aspersión total los surcos distinguibles de las nuevas especies son claros y vigorosos. Cuando no hay aspersión los nuevos surcos son menos conspicuos, mientras que la aplicación en bandas ocupa una posición intermedia. Asumiendo que la nueva especie tiene un mayor potencial de rendimiento que las especies ya existentes, cualquier pastura que promueva el crecimiento vigoroso de la nueva especie es probable que tenga un mayor potencial de rendimiento a largo plazo que la pastura original.

Para cuantificar las tres opciones debatidas, los investigadores en Nueva Zelanda midieron la producción de leche del rendimiento de las pasturas regeneradas por tres métodos diferentes (Lane *et al.*, 1993). También consideraron



Lámina 83 Establecimiento de raigrás en resiembra con aspersión total de herbicida.



Lámina 84 Establecimiento de raigrás en resiembra con aspersión de herbicida en bandas.

los costos relativos de cada práctica y expresaron los resultados en términos del tiempo necesario para recuperar esos costos de la producción relativa de leche para cada una de las opciones en las respectivas condiciones prevalentes. Los resultados obtenidos se encuentran en el Cuadro 24.

La opción de asperjado total fue la más costosa comparada con la aspersión en bandas y la opción sin aspersión, pero esta opción también formó la mejor pastura y dio mayores retornos en grasa de leche por hectárea. Sin embargo, cuando los costos fueron superados por los retornos, hubo poca diferencia entre las tres opciones y todas se reembolsaron en un período de ocho meses. Después de este período la producción adicional de la pastura resulta en una clara ganancia para el productor dado que los costos de establecimiento no se repiten todos los años. Esto favorece clara-

mente la aspersión total dado que los retornos de esta técnica son mayores que cualquiera de las otras dos opciones.

La técnica de asperjado en bandas fue ensayada primeramente por L. W. Blackmore (1968, comunicación personal) y posteriormente desarrollada por Collins (1970), Baker *et al.* (1979c) y Barr (1980, 1981). El ancho más deseable de las bandas no era evidente porque los costos y los beneficios descritos líneas arriba sugieren que la aspersión en bandas es algo inferior a la aspersión total. La alteración del ancho de la banda es simplemente elevar o bajar los picos aspersores. Por lo tanto, Collins (1970) y Barr (1980) estudiaron diferentes anchos de bandas en sus efectos sobre el rendimiento de las especies introducidas y de las especies residentes durante la regeneración de las pasturas. El Cuadro 25 registra los resultados de la aspersión en



Lámina 85 Establecimiento de raigrás en resiembra sin aspersión de herbicida.

bandas durante la resiembra con abresurcos de ala en surcos a 150 mm.

Claramente, la banda más ancha (75 mm) redujo la competencia de las especies residentes más que las bandas más angostas (50 y 25 mm). Esto se reflejó en un rendimiento más bajo de las especies residentes con la banda más ancha.

Los efectos de las especies introducidas sobre el rendimiento (aun en una etapa temprana de 12 semanas) reflejaron los niveles de competencia entre las bandas. La banda más ancha produjo el mayor rendimiento de las plantas juveniles. Dado que el espacio entre surcos fue de 150 mm, una aspersión óptima en bandas de 75 mm representa el 50 por ciento de remoción de la vegetación competidora. Los resultados mostrados en el Cuadro 24 comprendieron bandas de menos de 75 mm, de modo que el tratamiento de aspersión de la banda puede haber estado en alguna desventaja en el análisis de Lane *et al.* (1993).

En los experimentos de Barr (1980) también hubo un efecto de la colocación del fertilizante, el cual en un primer momento pareció ser discrepante con las tendencias descritas anteriormente (Capítulo 9). Sin embargo, un análisis más detallado de los efectos de la resiembra son predecibles y lógicos. Parecería que en esas circunstancias, aplicando el fertilizan-

Cuadro 24 Costos y beneficios de la regeneración de una pastura para lechería por tres métodos diferentes.

	Asperjado total	Asperjado en bandas	Sin asperjado
Costo del contrato de regeneración (\$EE UU/ha)	113	100	70
Producción adicional de pastura (kg materia seca/ha, primer año)	2 049	1 187	1 146
Vacas/ha adicionales para utilizar la pastura	0,43	0,26	0,24
Retornos de las vacas adicionales ^a	170	102	96
Retorno del primer año sobre las inversiones (%)	150	98	137
Tiempo para recuperar los costos de regeneración (años)	0,7	1,0	0,7

Nota: ^a Asume que 25 kg de producción adicional de pastura en Nueva Zelandia resultan en 1 kg adicional de grasa de leche que se vende a \$EE UU 3,24/kg.

Cuadro 25 Efectos del ancho de las bandas de aspersión sobre el rendimiento de materia seca (MS) de raigrás 12 semanas después de la resiembra (Barr, 1980).

Ancho de la banda de aspersión	Rendimiento de MS de las especies sembradas (kg/ha)	Rendimiento de MS de las especies residentes (kg/ha)
25 mm	130	1 298
50 mm	143	1 184
75 mm	196	776

te con la semilla, las plantas residentes que permanecen vivas son capaces de utilizar los nutrientes antes que las especies introducidas en razón de su sistema radical maduro. Esto va en desventaja de las plantas jóvenes introducidas a causa de una mayor competencia como se aprecia en el Cuadro 26.

La adición de fertilizante en la siembra incrementó el rendimiento de las especies residentes en un 25 por ciento lo cual, a su vez, compitió con las especies sembradas y redujo su rendimiento a las 12 semanas en un 18 por ciento. Ryan *et al.*, anteriormente ya habían informado sobre la superioridad relativa de la aspersión total al comparar esta con aspersión en bandas a 50 mm y sin aspersión. Obtuvieron 1 413 kg/ha de rendimiento de materia seca con la aspersión total, 930 kg/ha con la aspersión en bandas y 906 kg/ha sin aspersión.

Se recomienda, por lo tanto, que con la resiembra y donde las especies residentes no han desaparecido completamente, la aplicación de fertilizante sea demorada hasta después de la emergencia (o incluso hasta después del primer pastoreo) de las especies sembradas. Esta es la única situación de la-

branza cero para la que se hace esta recomendación. Por ejemplo, si la pastura se establece en una cama de semillas sin labrar y en la cual toda la competencia ha muerto, la recomendación sería aplicar fertilizantes en bandas con las semillas, siempre y cuando las sembradoras sean capaces de separarlos dentro de la ranura.

Si bien los parámetros para obtener óptimos resultados con la aspersión en bandas están bien definidos como se ha citado líneas arriba, la práctica presenta otras funciones de la sembradora, que aumentan las posibilidades de error. Más aún, el rendimiento total de la nueva pastura raramente es tan alto como a los 12 meses después de la aspersión total (que elimina todas las plantas), de modo que la técnica no es tan usada como la siembra en el ambiente libre de malezas que ofrece la aspersión total.

La aspersión en bandas representa una opción válida cuando no se desea la eliminación total; por lo tanto, las técnicas y los diseños del equipo necesario también son importantes. Las situaciones en las que la aspersión en bandas es adecuada incluyen:

Cuadro 26 Efecto de la aplicación de fertilizante en la resiembra de raigrás sobre las plantas 12 semanas después de la siembra.

	Rendimiento de materia seca (kg/ha) de las especies sembradas	Rendimiento de materia seca (kg/ha) de las especies residentes
Con fertilizante	141	1 207
Sin fertilizante	172	966

1. El rejuvenecimiento de los alfalfares donde la población es demasiado rala –como ocurre típicamente– pero las plantas sobrevivientes son sanas y fuertes, lo que favorece su retención con las plantas nuevas que se introducen.
2. El cambio del equilibrio temporario de una pastura, por ejemplo, cuando una leguminosa pasa el invierno en estado de semilataencia, la inserción de un raigrás anual o de un cereal de invierno en otoño pueden incrementar la producción invernal.
3. La regeneración de las pasturas afectadas por pestes, pisoteo o sequías en el caso en que las especies sobrevivientes sean resistentes a los factores que eliminaron la mayoría de las otras plantas y, por lo tanto, consideradas un recurso de valor digno de ser conservado.
4. La introducción de nuevas especies adecuadas al hábitat creado por las especies residentes tales como el incremento de la fertilidad descrito al inicio de este capítulo.

Equipo para la aspersión en bandas

Los primeros diseños de equipos para aspersión en bandas tenían un pico asperjador delante del abresurcos. La opción de asperjar detrás del abresurcos fue rápidamente abandonada por dos razones (Collins, 1970):

1. Después del paso del abresurco el follaje está a menudo cubierto por suelo, lo cual tiende a desactivar los herbicidas como el paraquat o el glifosato.
2. El paraquat es fitotóxico para muchas semillas que podrían permanecer expuestas en la ranura antes de que se complete su cobertura.

Para que el pico asperjador permanezca a una distancia constante sobre la tierra tiene que estar montado independientemente con su propio aparato regulador de altura (Lámina 86) o, si está montado directamente en el abresurcos, este último debe tener un control efectivo de la altura, el que es necesario, de

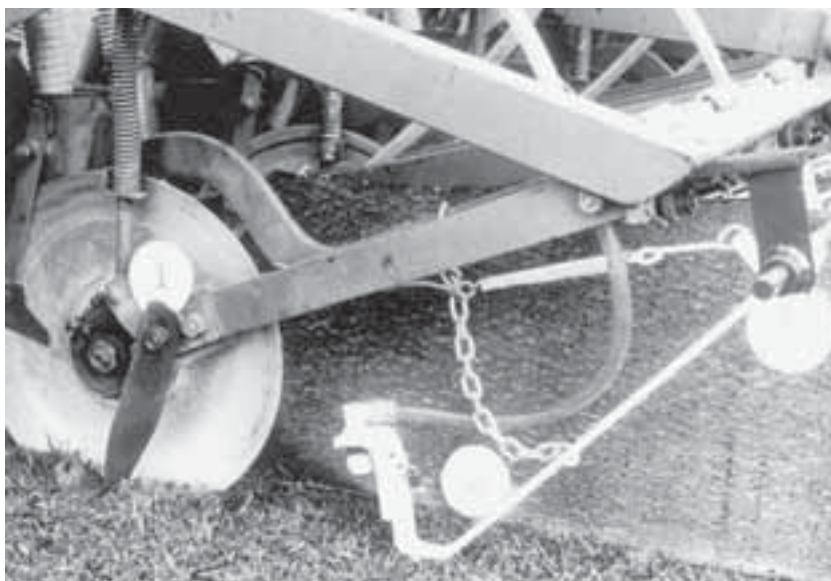


Lámina 86 Pico asperjador en banda montado separadamente para controlar la altura de la aspersión.

cualquier manera, para un control adecuado de la profundidad de siembra.

Incluso con un control adecuado de la altura, los picos asperjadores encuentran otros problemas. La aplicación de ciertas dosis de líquidos recomendadas por los fabricantes de herbicidas para ser aplicadas por unidad de superficie son difíciles de obtener porque las bandas angostas exigen que la aplicación se concentre en un área muy pequeña para cada pico. Esto requiere picos asperjadores muy finos, los cuales a su vez requieren microfiltración para evitar su bloqueo con las impurezas del agua que podrían ser aceptables para asperjadores comunes. Más aún, dado que los picos asperjadores trabajan cerca del suelo (50-75 mm) están sujetos a bloquearse con el salpicado de las gotas del suelo o sufrir daños en su contacto con restos vegetales, piedras o terrones.

Los picos asperjadores cónicos huecos son los más adecuados para la aplicación en bandas con picos individuales; los picos en aba-

nico han sido usados con buenos resultados debido principalmente a que las variaciones dentro de la banda son aceptables cuando el objetivo es solo suprimir y no eliminar todas las plantas. Los picos cónicos huecos generalmente tienen un modelo más uniforme de pico asperjador simple que los picos en abanico.

Un método innovador de aplicación de herbicidas en bandas ha sido usado con la versión de discos de los abresurcos de ala. Dado que este abresurco está equipado con dos reguladores de goma semiautomáticos para la presión de los ruedas compresoras, el herbicida puede caer en gotas en la parte superior de las ruedas a baja presión y ser llevado sobre la tierra en la misma forma que un marcador de césped (Ritchie, 1986a, b). Esto evita problemas de bloqueo, microfiltración, derivación por el viento, presencia de plantas altas y daños físicos comunes a los picos pequeños e introduce la posibilidad de medir el herbicida. La Lámina 87 muestra este aparato.

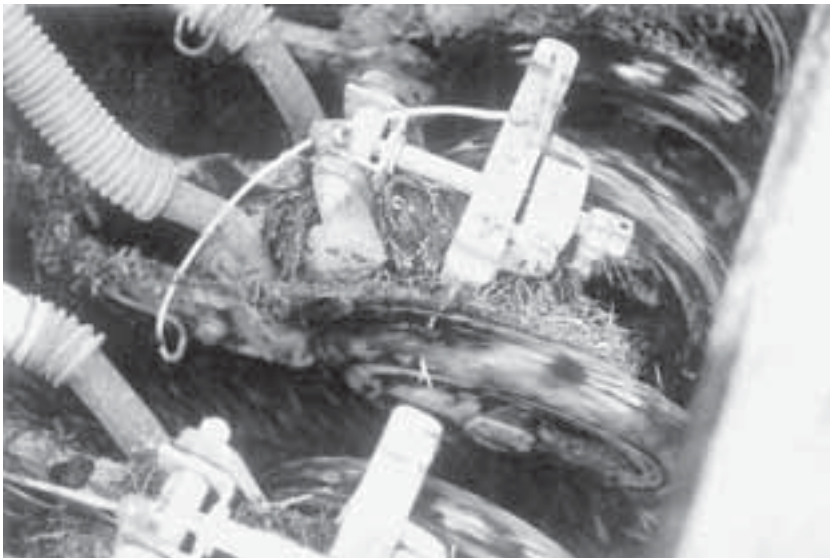


Lámina 87 Goteo de herbicida sobre las ruedas de regulación de profundidad en un abresurcos para labranza cero.

La dosificación del herbicida sobre la tierra involucra el uso de una bomba de desplazamiento positivo movida por la rueda de la sembradora de tal manera que su resultado por metro de recorrido permanece casi constante, cualquiera que sea la velocidad de avance o la presión. Tal sistema no es posible con asperjadores a presión en razón de las inevitables variaciones en la velocidad de avance que causan variaciones en la presión del asperjador; esto a su vez causa variaciones en el ancho de la banda, dado que el ancho del modelo de aspersión de un pico es parcialmente dependiente de su presión de operación. Con el sistema de goteo sobre la rueda, la presión de salida es poco importante ya que no se debe mantener un modelo de aspersión y, aun si lo fuera, estaría dirigido a la parte superior de la rueda la cual a su vez deja el herbicida en la tierra como una película húmeda y no directamente como un chorro.

Por otro lado, el hecho de que el herbicida corra sobre la rueda es un inconveniente porque esta opera detrás del abresurcos e inevitablemente levanta suelo, el cual a su vez se adhiere como barro en las ruedas húmedas. Su uso para este objetivo es posible solo con los abresurcos de ala o de doble disco dado el mínimo disturbo de la superficie que estos crean.

Cualquier contaminación del suelo se contrapone a la mejor eficiencia de absorción de la mayoría de los herbicidas aplicados con la rueda y no asperjados sobre las hojas. El resultado de pruebas de campo en muchos miles de hectáreas es que las bandas de 75 mm creadas por la aplicación de herbicidas con las ruedas funcionan tan bien como la aspersión del mismo ancho de banda y tienen una mayor tolerancia de las condiciones bajo las cuales pueden ser usadas.

Control de profundidad y formación de las ranuras

El control de profundidad de la siembra de semillas de pasturas, campos deportivos y

otros casos de uso de especies forrajeras es una operación sumamente precisa. Muchas sembradoras diseñadas expresamente para la regeneración de pasturas han sido promovidas por su bajo costo. Por esta razón, los mecanismos de control de profundidad de la siembra son generalmente primitivos y, en algunos casos, inexistentes.

Por ejemplo, las sembradoras de bajo costo que dominan el mercado de las sembradoras de pasturas en Australia y Nueva Zelandia están casi todas equipadas con el sistema «*Baker Boot*» en versiones de abresurcos de ala simples (ranura en forma de T invertida). Si bien la elección de la forma de la ranura es adecuada, la capacidad de estos abresurcos para seguir la superficie es limitada en razón del diseño simple de los abresurcos en los cuales se colocan. Esto causa que el ángulo de las alas de los abresurcos cambie durante su avance (ver Capítulo 4). Para evitar la pérdida total del ángulo del ala en los huecos, el ángulo preestablecido sobre el nivel de la tierra es de 10°. Este ángulo relativamente agudo significa que la menor profundidad a que puede trabajar este abresurcos y al mismo tiempo mantener una verdadera ranura en forma de T invertida sin romper la cobertura de la superficie es de cerca de 25 mm.

En contraste, la versión de disco más desarrollada de los abresurcos de ala está montada en brazos de arrastre en forma de paralelogramo, lo que asegura que el ángulo del ala nunca cambie. El ángulo preestablecido se reduce a 5° para permitir que las alas operen íntegramente a profundidades tan reducidas como 15 mm. Es sin duda una ventaja importante sembrar pasturas con una máquina equipada con una tecnología similar a la que se usa para sembrar cultivos anuales de mayor valor.

Mientras muchos diseñadores de abresurcos consideran que las pasturas y los campos deportivos son los casos más difíciles de sembrar, con los abresurcos de ala las raíces de las maciegas de las pasturas y de los céspedes preparan un medio cubierto de considerable

elasticidad y resistencia que puede ser fácilmente doblado y reemplazado mientras a la vez se retiene la integridad de las ranuras en forma de T invertida (Ritchie, 1988).

Dosificación de las semillas

La mayoría de las semillas de pasturas y forrajes son pequeñas, livianas y/o esponjosas; en muchos casos también tienen aristas, todo lo cual causa problemas para su manejo y dosificación.

En primer lugar, son difíciles de dosificar con precisión. Los aparatos para dosificar los granos pequeños, que por lo general siembran algún centenar de kilos de semillas por hectárea, difícilmente están bien adaptados a sembrar menos de un kilo de semillas pequeñas por hectárea. Más aún, si las semillas tienen aristas largas o son esponjosas, tienden a formar una cúpula sobre el aparato dosificador que interrumpe su flujo. Esto requiere un agitador adecuado a la sembradora para evitar la formación de esa cúpula. A menudo, las sembradoras para semillas pequeñas y/o para semillas difíciles de manejar usan una tolva auxiliar diseñada especialmente para ese tipo de semillas.

Muchas semillas de pasturas se siembran como mezclas de dos o más especies. Las mezclas más comunes son gramíneas y tréboles. Las semillas de tréboles por lo general son redondeadas y densas. Las semillas de los pastos son generalmente alargadas y a menudo esponjosas y livianas. Una mezcla previa de semillas tan diferentes puede separarse parcialmente en sus componentes individuales dentro de la tolva de semillas de una sembradora, dada la continua vibración de la máquina. Para reducir la separación y ayudar a la dosificación, las semillas pequeñas a menudo se mezclan con material inerte como aserrín o cáscara de arroz para dar mayor masa al material y reducir su sedimentación. Con estas mezclas la separación también puede ser un problema, especialmen-

te si son dosificadas y sembradas por un sistema en base a corriente de aire. En estos casos, la alta velocidad de la corriente de aire puede separar las semillas más livianas y esponjosas fuera de la ranura de las semillas antes de que hayan sido cubiertas.

Resumen de la producción de forraje en la labranza cero

1. Los sistemas de producción que dependen de un abastecimiento intensivo de forraje exigen que este llegue en forma continua al ganado, lo que favorece el uso de los cultivos sucesivos de forraje frente a los sistemas más tradicionales de pasturas.
2. Usando la labranza cero el establecimiento de sucesivos cultivos forrajeros es sostenible solamente a largo plazo.
3. La integración de la producción de forraje y de cultivos anuales es deseable en climas que permiten la utilización económica de los cultivos forrajeros por parte de los animales.
4. Los agricultores por lo general otorgan menos valor a los cultivos forrajeros que a los cultivos anuales y aceptarán fácilmente resultados inferiores.
5. Las sembradoras para pasturas y muchos cultivos forrajeros requieren un control de siembra más preciso y la siembra a menor profundidad que las máquinas equivalentes para los cultivos anuales.
6. Las sembradoras para semillas de pasturas y forrajes deben ser capaces de dosificar las semillas pequeñas.
7. Los cultivos forrajeros deberían ser generalmente tratados con el mismo cuidado y atención que los cultivos de especies anuales, lo que raramente ocurre.
8. Las sembradoras para pasturas deben ser capaces de manejar asociaciones fuertes de raíces con el suelo y también de utilizar esta cobertura en su provecho.

9. Con la regeneración de las pasturas por medio de la siembra en cobertura puede haber una permuta o intercambio entre proporcionar un ambiente adecuado para la germinación y la emergencia y una reducción de la competencia de la pastura existente.
10. Dado que el momento de la siembra de los cultivos forrajeros y las pasturas es menos crítico que el de los cultivos anuales, hay más oportunidades para esperar el tiempo adecuado y compensar la calidad del trabajo de abresurcos mediocres.
11. Respecto a la recuperación de la inversión, la aspersión total de la competencia vegetal existente dará mejores resultados a largo plazo que la aspersión en bandas, la cual a su vez es superior a la no aspersión.
12. La siembra cruzada de pasturas de establecimiento lento puede producir una mayor infestación de malezas que la siembra en una sola pasada.
13. La siembra temprana en el otoño probablemente producirá más pasturas que la siembra tardía, siempre que en ese momento haya una adecuada humedad en el suelo.
14. Es probable que la siembra a principios del otoño y en primavera produzca más problemas de malezas que la siembra tardía en otoño, especialmente con especies de pasturas de establecimiento lento.
15. La siembra con una sola pasada de la sembradora en surcos a 75 mm puede producir una ventaja de rendimiento a corto plazo con especies de pasturas de establecimiento lento, en comparación con la siembra a 150 mm.
16. Ni la siembra en una sola pasada a 75 mm ni la siembra cruzada a 150 mm tienen ventajas agronómicas a largo plazo en comparación con la siembra en una pasada a 150 mm; tampoco tienen ninguna ventaja a corto plazo con especies de pasturas de establecimiento rápido.
17. Con aspersión en bandas para sembrar en cobertura se prefieren las bandas anchas a 75 mm en comparación con las siembras a 150 mm.
18. Con la siembra en cobertura para la regeneración de pasturas, los fertilizantes deberían ser aplicados en el momento de la siembra tres semanas después de la emergencia.
19. Con una renovación total de las pasturas, la nueva pastura debería ser sembrada y el fertilizante aplicado en la misma operación, en forma similar a los cultivos anuales.

13

Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala

C. John Baker

Una sembradora para labranza cero es una máquina diseñada para servir a las funciones de sus abresurcos.

Aunque la mayoría de las funciones deseadas de las sembradoras y de las sembradoras de precisión para labranza cero pueden estar indudablemente relacionadas con las funciones deseadas de sus abresurcos, también hay otros componentes y funciones importantes. A continuación serán examinados en sentido amplio sin intención de aprobar o desaprobar los criterios de los modelos en las sembradoras y sembradoras de precisión comerciales.

Los diseñadores y fabricantes que consideren seriamente las funciones deseadas de las sembradoras y las sembradoras de precisión y las variaciones requeridas para obtener esos resultados con la mayor frecuencia posible presentan una gama de opciones. Los consumidores deben constatar qué máquina les puede resultar más útil después de haber sopesado factores de riesgo, comportamiento y costos.

Por ejemplo, las sembradoras para regeneración de pasturas pueden no ser tan desarrolladas como aquellas para establecer cultivos anuales porque el manejo de los residuos raramente es un requisito importante en la siembra de especies forrajeras y además porque puede haber mayor flexibilidad en la elección de la fecha apropiada de siembra. Esto a su vez permite una demora en el momento de siembra

hasta que llega el tiempo favorable. Por otro lado, el objetivo de las fechas de siembra para los cultivos anuales a menudo está dictado por la oportunidad climática de la cosecha, que es muy limitada y difícilmente permite esperar durante mucho tiempo las condiciones favorables. Las sembradoras y las sembradoras de precisión deben funcionar a su máximo potencial con menor dependencia del clima y por ello deben ser más elaboradas que las sembradoras para regeneración de pasturas.

Este capítulo considera las máquinas para grandes predios y tracción mecánica y el capítulo siguiente analiza las máquinas para agricultura en pequeña escala y para animales de tiro. En ambos casos el modelo de las sembradoras y las sembradoras de precisión cubre los siguientes temas:

- Ancho de las operaciones.
- Nivelación de la superficie.
- Requisitos de potencia.
- Aplicación de la fuerza de penetración.
- Consideraciones para el transporte.
- Utilización de la potencia disponible.
- Almacenamiento y dosificación de los productos.

Ancho de las operaciones

Los factores más importantes que deberían tener influencia sobre el modelo de las

sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero son el tiempo total necesario para establecer un cultivo determinado y la fuerza disponible para tirar de la máquina. Lamentablemente, muchos agricultores se convierten de la labranza común a la labranza cero con la esperanza de que con este último sistema obtendrán el mismo rendimiento del trabajo que con las máquinas usadas anteriormente para labrar la tierra. Tales expectativas no tienen en consideración el hecho de que las máquinas para labranza cero van a cubrir el campo solo una vez y pueden, por lo tanto, permitir un trabajo a una velocidad menor de trabajo. Dado que muchas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero son capaces de trabajar a una velocidad de avance similar a la de las máquinas de labranza, esto significa que pueden ser más angostas.

Una comparación concisa y práctica fue hecha por un agricultor inglés quien concluyó que mientras pudiera sembrar con su máquina para labranza cero a la misma velocidad que podía anteriormente arar, estaría ganando al utilizar la labranza cero. A pesar de tal pragmatismo, es común oír que otros agricultores exigen que las máquinas para labranza cero sean del mismo ancho que las máquinas convencionales. Algunos fabricantes de maquinaria acceden a estos pedidos pero se ven forzados a seleccionar abresurcos con baja demanda de potencia. Casi invariablemente, cuanto más baja es la demanda de potencia de los abresurcos para labranza cero, de menor calidad será el trabajo que hacen en el suelo sin labrar y mayor será el riesgo de un fracaso biológico.

Por ejemplo, un agricultor que use la labranza mínima cubrirá el campo pasando por lo menos dos veces o probablemente tres veces para establecer un cultivo. Si cada una de las máquinas usadas para la labranza mínima, incluida la sembradora, fuera de 4,5 m de ancho, el ancho efectivo de trabajo sería de 1,5 m (4,5:3). Aún así, muchos agricultores se lamentan de que una sembradora de 3 m de ancho para labranza cero sería demasiado angosta

para sus propósitos, si bien podrían completar todo el trabajo en la mitad del tiempo que requieren las máquinas de 4,5 m en labranza mínima. Sin embargo, es sorprendente que este problema aparentemente simple se repita en numerosas oportunidades.

Para aquellos agricultores resistentes al cambio, tal argumento podría ser una excusa para eludir el problema. Para otros que practican la labranza cero con las sembradoras que requieren poca potencia, refleja la ignorancia de los beneficios que ofrecen las máquinas para labranza cero más desarrolladas; lo cual invariablemente está acompañado por una mayor demanda de potencia.

Si bien el incremento de demanda de potencia y fuerza de penetración de los abresurcos se convierte en una mayor solicitud de la potencia del tractor y del peso de la máquina, esos insumos son relativamente poco costosos y fácilmente obtenibles. El aumento de la confiabilidad biológica y de los rendimientos de los cultivos por medio del modelo de los abresurcos son el insumo más costoso y complejo. Algunos operadores eligen minimizar los requisitos de potencia o peso en lugar de maximizar la confiabilidad biológica. En realidad, es así como los operadores individuales enfocan todo el concepto de labranza cero: si están orientados a obtener mejores rendimientos o si están orientados a obtener beneficios económicos.

Aquellos que consideran la labranza cero como un elemento para eliminar la labranza pero que todavía piensan que la labranza es el elemento fundamental, probablemente opten por lo menos costoso, y maximicen el ancho del trabajo y minimicen los requisitos de potencia y peso como altas prioridades. Aquellos que consideran que la labranza cero es el objetivo final y consideran la labranza solo como una etapa del proceso de aprendizaje (si bien practicada durante siglos) podrían cambiar su opinión y buscarán maximizar el comportamiento biológico, casi sin considerar el costo, el peso y el ancho, y dispuestos a

agregar fácilmente los cambios necesarios en sus prácticas de manejo. A menudo está lleno de gente con estas dos perspectivas y no es probable que cambien en este sentido.

El modelo y el deseo de un cierto ancho de operación incluyen varias funciones más allá de la relación que pueden tener con el abresurcos: disponibilidad de potencia, topografía del predio, cantidad de insumos que se llevan al campo y su transporte, por enumerar solo algunos. Cada función que se agrega se integra en el modelo general y en el ancho de la máquina. Los ejemplos de las máquinas que se observan en las Láminas 88, 89, 90 y 91 presentan un rango de ancho de 4 a 18 m, todas montadas con el abresurcos en T invertida pero en diferentes configuraciones.

Nivelación de la superficie

La oportunidad de nivelar la tierra antes de la siembra se pierde cuando se trabaja en el

régimen de labranza cero. Por esta razón, las sembradoras y las sembradoras de precisión deben ser capaces de seguir fielmente cambios importantes en la superficie del suelo sin ir en detrimento de la profundidad de siembra o de otras funciones. Este es un requisito difícil de satisfacer (ver Capítulo 8) y para una sembradora o una sembradora de precisión impone limitaciones sobre el ancho total de la máquina y otras consideraciones en su diseño.

Seis metros (20,5 pies) parece ser el límite máximo que una máquina puede abarcar en un solo bastidor para permitir que los abresurcos se levanten y caigan lo suficiente para seguir las depresiones y elevaciones del terreno. Aun en esos casos, salvo cuando los abresurcos son empujados con una fuerza de penetración capaz de ejercer una fuerza consistente a medida que se mueven verticalmente cerca de 0,4 m (16 pulgadas), puede ocurrir alguna siembra a profundidad irregular con una sembradora de 6 m de ancho. Cuando son necesarios anchos mayores se utilizan unidades múltiples o alas



Lámina 88 Sembradora de 4,5 m de ancho para labranza cero sobre marco rígido y con rueda trasera.

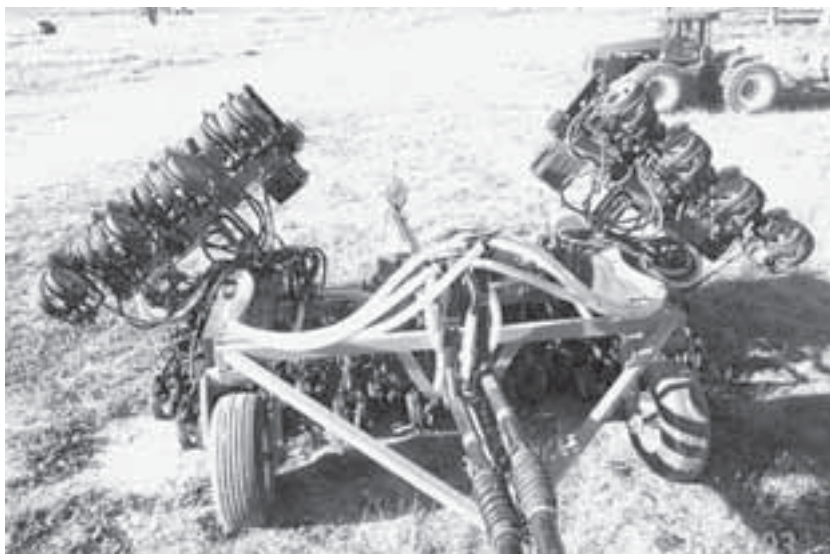


Lámina 89 Barra portaherramientas de 12 m, remolcada, con las alas dobladas para el transporte.



Lámina 90 Barra portaherramientas rígida de 4 m que se levanta para su transporte.

que se doblan a partir de un grupo central. Pero aun así, el trabajo con una máquina de 6 m de ancho con un abresurcos con buena capacidad de seguimiento de la superficie es posible so-

lamente en un terreno razonablemente nivelado. Una medida más aceptable sería 4,5 m.

No existe ninguna diferencia si los abresurcos están separados 150 mm o un metro. Cada



Lámina 91 Barra portaherramientas de 18 m que se remolca desde su parte trasera para el transporte.

abresurcos individual debe subir y bajar en respuesta a las irregularidades de la superficie, independientemente de los otros abresurcos. Su incapacidad para hacerlo resulta en la pérdida de un surco sin consideración de cuántos surcos más hay.

Dado que el microcontorno de la superficie de la tierra permanece sin disturbar, las ruedas reguladoras/compresoras de los abresurcos para labranza cero deben operar en una superficie más áspera que en el caso de la labranza común. La reducción del impacto de esta aspereza debe ser obtenida por medio de un resorte en las ruedas reguladoras/compresoras, pero esto elimina virtualmente su función de control de profundidad, dado que la relación entre la posición de las ruedas y la base de la ranura (posición de la semilla) cambia constantemente cuando las ruedas están en tensión. Como alternativa, el montaje de las ruedas sobre brazos deslizantes reduce efectivamente a la mitad cada irregularidad superficial, lo cual nivelará el pasaje de un abresurco con ruedas reguladoras/

compresoras rígidas o semineumáticas sin comprometer su función de regulación.

Otro elemento a considerar es la velocidad. Obviamente, cuanto más rápidamente es arrasada la sembradora o la sembradora de precisión, más variable será el recorrido. Esto es especialmente importante con las sembradoras de precisión porque la precisión en la entrega de las semillas y su espaciado final es afectado por la suavidad del recorrido. Una velocidad aceptable para trabajar con una sembradora de precisión en un suelo labrado puede ser muy rápida cuando la misma sembradora opera en un suelo sin labrar. Este es un factor negativo de la labranza cero pero que debe ser considerado frente al hecho de que en un suelo labrado han sido necesarias varias pasadas de herramientas de labranza antes de la siembra. Por lo tanto, si es necesaria una velocidad de siembra menor para la siembra en labranza cero, esto reducirá, pero no eliminará, las ventajas asociadas con este tipo de labranza cero. En el caso de la siembra de semillas pequeñas comparada con la

sembradora de precisión de semillas más grandes, casi no hay restricciones de velocidad. Sin duda, algunas sembradoras para labranza cero operan a velocidades mayores que máquinas similares en tierras labradas.

Requisitos de potencia

Las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero requieren más potencia para operar en suelos sin labrar que las máquinas que trabajan en suelos labrados. Esto es en parte debido al hecho de que los abresurcos están diseñados para romper la tierra sin labrar y en parte porque las máquinas son más pesadas. Los requisitos típicos de potencia son de 3 a 9 kilovatios (kW) del motor del tractor (4 a 12 HP) por abresurco. Esta potencia también requiere un incremento de la potencia de tracción, por lo que en los casos de labranza cero son usados preferentemente tractores con tracción en las cuatro ruedas.

Este requisito de potencia crea limitaciones en el número de abresurcos que pueden ser arrastrados por un tractor determinado. Por ejemplo, una sembradora de 25 abresurcos que opera en un terreno llano y en suelo de textura media, requiere una potencia del motor del tractor de aproximadamente 150 kW (200 HP) mientras que el mismo abresurcos operando en un suelo sedimentario y/o en suelos en ladera o en un césped denso puede requerir un 50 por ciento más de potencia.

Los requisitos de potencia también están relacionados con la velocidad de siembra. Algunos abresurcos pueden operar satisfactoriamente a velocidades relativamente altas (hasta 16 km/h). Otros no deberían ser usados a más de 7 km/h. La necesidad de potencia del tractor se incrementa con el aumento de la velocidad que resulta en un menor tiempo de trabajo.

Las sembradoras de precisión tienen ventajas sobre las sembradoras en lo que respecta a los requisitos de potencia. El menor número

de abresurcos en las sembradoras de precisión es debido a su mayor espaciamiento, de hasta un metro, lo que significa que raramente la potencia del tractor será un factor limitante para el tamaño de la máquina. En general, el límite máximo del tamaño de las sembradoras de precisión es la capacidad de los abresurcos para seguir el nivel de la superficie del terreno, mientras que en las sembradoras el factor limitante es la potencia del tractor. Como regla general, para un ancho dado de operación, una sembradora de precisión requiere la mitad de la potencia del motor del tractor de una sembradora de una medida similar.

Finalmente, el ancho de la sembradora será determinado por una combinación del número de abresurcos y de la distancia entre surcos. En general, en la labranza cero los cultivos se benefician de un espaciamiento estrecho de los surcos en razón de la mayor disponibilidad de humedad de los suelos sin labrar. Por otro lado, las limitaciones físicas impuestas por el manejo de los residuos indican que en las sembradoras los surcos para labranza cero raramente están espaciados a menos de 150 mm.

Fuerzas del peso y del abresurcos

Cada modelo de abresurcos para labranza cero requiere una fuerza de penetración diferente para satisfacer el objetivo de colocar las semillas a la profundidad requerida. Esta fuerza de penetración está determinada por numerosas variables:

1. Consistencia del suelo, lo que determina la resistencia del suelo a la penetración.
2. Densidad y humedad del suelo, lo que afecta la consistencia del suelo.
3. Presencia o ausencia de piedras y su tamaño.
4. Presencia o ausencia de raíces de plantas que resisten directamente a la penetración.

5. Estado de descomposición de las raíces de las plantas, que es afectado por el intervalo entre la aspersión o la cosecha y la siembra.
6. Velocidad de operación, ya que los abresurcos penetran mejor a velocidades reducidas que a altas velocidades.
7. Arrastre de los abresurcos (su resistencia al movimiento a través del suelo).
8. Geometría del enganche de los abresurcos al bastidor de la sembradora; a medida que el abresurco se mueve hacia abajo en un hueco el componente vertical de tiro aumenta actuando hacia arriba, oponiéndose y reduciendo la fuerza de penetración y empujando los abresurcos dentro del suelo.

Mai (1978) midió las fuerzas de penetración y las fuerzas de arrastre a una profundidad de siembra de 38 mm, a muy bajas velocidades de abresurcos de triple disco vertical y de abresurco simple de ala en labranza cero, en un césped asperjado en un suelo franco sedimentario y con dos contenidos diferentes de humedad. Los resultados se encuentran en el Cuadro 27.

Los datos del Cuadro 27 muestran que mientras que el abresurco vertical de triple disco requirió cuatro veces más de fuerza de penetración en 38 mm de profundidad que el abresurco simple de ala, requirió el 50 por ciento menos fuerza de arrastre a través del suelo.

La acción de penetración del abresurco de triple disco forma en el suelo una cuña con el ángulo agudo hacia abajo que absorbe la fuerza de penetración. Por otro lado, el abresurco de ala tiende a levantar el suelo lo que reduce su fuerza de penetración. De hecho, el suelo cuando actúa sobre la superficie superior de las alas inclinadas tiende a tirar esa parte del abresurco de ala hacia la tierra, si bien es contrarrestado por la resistencia a la penetración del predisco, por la parte vertical del cincel del abresurco y por los bordes frontales más bajos de las alas.

El abresurco vertical de triple disco está compuesto totalmente de discos giratorios. Una vez que ha llegado a la profundidad de operación, las fuerzas necesarias de tiro a través del suelo son menores que con el abresurco de ala, el cual corta las raíces y a medida que avanza separa una zona de suelo más ancha que el abresurco de triple disco. Esto se refleja en las relaciones *fuerza de penetración:fuerza de tiro* para los dos abresurcos, que promedian 0,65 para el abresurco vertical de triple disco y 0,11 para el abresurco simple de ala.

Lógicamente, en el caso de ambos abresurcos, el suelo más húmedo requiere menos fuerza de penetración y de tiro que un suelo seco, pero la relación *fuerza de penetración:fuerza*

Cuadro 27 Requisitos de fuerza de penetración y de arrastre de dos abresurcos en labranza cero.

	Abresurco vertical de triple disco ¹		Abresurco simple de ala ²	
	23%	28%	23%	28%
Contenido de humedad (g/g)	23%	28%	23%	28%
Fuerza de penetración (N)	882	842	221	203
Arrastre (N)	1 684	1 210	2 096	1 852
Relación fuerza de penetración:arrastre	0,53	0,70	0,11	0,11

Nota: Conversión: (N) Newton = fuerza 0,2 libra.

¹ El abresurco vertical de triple disco tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 200 mm de diámetro; los dobles discos eran de 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro.

² El abresurco simple de ala tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 200 mm de diámetro; las alas median 40 mm de ancho.

de tiro permaneció razonablemente estable, sin considerar el contenido de humedad del suelo.

Baker (1976a), en tres experimentos separados, midió las fuerzas de penetración requeridas para una penetración de 38 mm por varios abresurcos en un suelo seco, fino, arenoso limoso, cubierto con residuos de pasturas tratadas con herbicidas y contenidos de humedad que variaban entre el 14,1 y el 18,2 por ciento (g/g). Los resultados se encuentran en el Cuadro 28.

Los datos del Cuadro 28 muestran que la diferencia en la fuerza de penetración entre los abresurcos verticales de triple disco y los abresurcos simples de ala es ligeramente menor que en el Cuadro 27, probablemente en razón de un suelo más liviano. El abresurco de azada fue similar al abresurco de ala lo que sugiere que el efecto de arrastre de las alas tuvo una importancia menor, ya que los abresurcos de azada no tienen alas.

El abresurco angulado de disco plano requirió la menor fuerza de penetración de todos los abresurcos probados y el abresurco angulado de disco cóncavo requirió más fuerza de penetración que todos los otros abresurcos excepto el de triple disco vertical, probablemente a causa de la resistencia a la penetración de la parte convexa del disco angulado.

Para que una sembradora o una sembradora de precisión pueda operar, su peso o com-

ponente de penetración debe ser suficiente para proporcionar las fuerzas de penetración combinadas de todos sus abresurcos cuando operan en las peores condiciones –por lo general, las más secas– en las que es posible obtener emergencia de las plántulas. Este concepto es particularmente importante y a menudo confunde a los potenciales interesados en adquirir sembradoras cuando se enfrentan con las propuestas y contrapropuestas de los fabricantes. Por ejemplo, los abresurcos verticales de doble o triple disco se comportan mediocrementemente en lo que hace a la emergencia de las plántulas en los suelos secos (ver Capítulo 6). Con pocas excepciones, las sembradoras o las sembradoras de precisión con esos abresurcos no proporcionan suficiente fuerza de penetración (peso) para llegar a la profundidad de siembra en el suelo seco. Las sembradoras parecen ser relativamente livianas lo que da la impresión errónea de que pueden penetrar en la tierra más fácilmente que otras sembradoras, cuando la realidad es la situación opuesta.

Por otro lado, los abresurcos de ala toleran suelos muy secos, en términos biológicos, y sus sembradoras o sembradoras de precisión a menudo son suficientemente pesadas como para forzar a los abresurcos en suelos que podrían ser de otra manera biológicamente inadecuados. Por esta razón, el peso total de una sembradora o de una sembradora

Cuadro 28 Requisitos de fuerza de penetración de varios abresurcos para labranza cero.

	Triple disco vertical ¹	Simple de ala ²	De azada ³	Disco plano angulado ⁴	Disco cóncavo angulado ⁵
Fuerza de penetración (N)	770	281	263	133	145

Nota: Conversión: 1 N (Newton) = fuerza 0,2 libra.

¹ El diseño del abresurco de disco triple vertical según el Cuadro 27; el valor es la media de tres experimentos.

² El diseño del abresurco simple de ala según el Cuadro 27; el valor es la media de tres experimentos.

³ El abresurco de azada tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro y el diente era de 25 mm de ancho; el valor es la media de tres experimentos.

⁴ El disco plano angulado tenía 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro; el valor es de un solo experimento.

⁵ El disco angulado cóncavo tenía 2 mm de espesor y 250 mm de diámetro; el valor es de un solo experimento.

de precisión no refleja necesariamente los requisitos de sus abresurcos en un suelo determinado. Este puede, de hecho, reflejar mejor que ningún otro elemento la tolerancia biológica (o intolerancia) de sus abresurcos a los suelos secos.

Sin embargo, es necesaria otra fuerza además del peso muerto de los abresurcos para forzar su penetración en el suelo. La Figura 35 muestra cuatro arreglos geométricos diferentes para unir los abresurcos a los bastidores de las sembradoras.

El primero y más simple consiste en fijar los abresurcos en forma rígida al bastidor de la sembradora, sin posibilidad de articulación entre los mismos. Esto da a la sembradora una baja capacidad para seguir los cambios de la superficie pero la fuerza de penetración provista a cada abresurco permanece razonablemente constante y claramente predecible.

El segundo caso utiliza un cable de acero para: i) introducir un brazo de tiro separado entre el bastidor de la sembradora y el abresurco, y ii) proporcionar un movimiento limitado entre este y el bastidor de la sembradora. Para cumplir la segunda función, la parte superior se extiende y a menudo está enrollada varias veces para aumentar su flexibilidad.

Durante la operación, el arrastre contra el suelo del abresurcos tiende a que el brazo de tiro tire hacia atrás y hacia arriba, pero el desplazamiento real en cualquier dirección es relativamente pequeño. Esto significa que el punto de acción de la fuerza de penetración aplicada en el suelo permanece relativamente constante en relación con el bastidor de la sembradora y, por lo tanto, hay poco cambio en la fuerza de penetración a medida que los abresurcos atraviesan las ondulaciones de la superficie del terreno.

Este modelo limita su capacidad para seguir fielmente las variaciones de la superficie del terreno. Además, muchos modelos similares permiten que los abresurcos se muevan hacia los lados con el resultado de producir alguna variación en el espaciado entre surcos; sin embargo, esto permite trabajar en superficies con piedras grandes y tener menos bloqueos que los abresurcos rígidos o las barras de tiro que se mueven solo en el plano vertical.

El tercer arreglo se usa comúnmente en las sembradoras convencionales para camas de semillas en tierras aradas y ha sido simplemente transferida a muchas sembradoras para labranza cero, con ajustes para reforzar su fortaleza y la magnitud de las fuerzas de

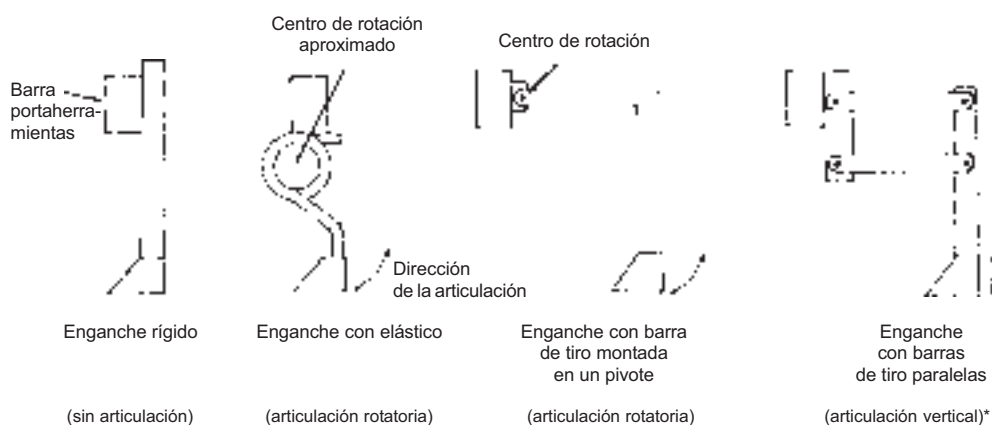


Figura 35 Opciones geométricas para el enganche de las barras de tiro en una sembradora para labranza cero. *El abresurco también se mueve hacia delante al igual que toda la máquina, por lo que esto es ignorado y no afecta la función del abresurco de ninguna manera.

penetración. Consiste de una sola barra de tiro montada en un pivote que es empujada hacia abajo o algunas veces se tira de ella desde abajo. El abresurcos no puede actuar hacia atrás, solamente hacia arriba y hacia abajo en un arco limitado alrededor del punto del pivote entre la barra de tiro y el bastidor de la sembradora. Dado que la fuerza aplicada por el tractor para crear este movimiento de avance –fuerza de arrastre– actúa a través del punto del pivote y se opone a la resistencia del abresurco en el punto de contacto del suelo, estas fuerzas pueden ser resueltas por triangulación de sus componentes horizontales y verticales.

La Figura 36 muestra el diagrama de las fuerzas resultantes. El tiro o fuerza de tiro aplicada por el tractor se opone por la resistencia al movimiento hacia adelante (P) a través del suelo. Esto se aprecia en el diagrama como el componente horizontal de tiro (H). El componente de tiro (V) es derivado de la línea resultante de tiro (R) que pasa a través del punto de unión del abresurco a la sembradora y el centro de resistencia (X) de todas

las fuerzas del suelo; este es el punto de equilibrio de todas las fuerzas de resistencia del suelo en el abresurcos y está ubicado algo debajo de la superficie del suelo. El componente vertical de tiro (V) actúa hacia arriba y, junto con la fuerza vertical que se genera por la resistencia del suelo a la penetración, tiene que ser contrarrestada por la fuerza neta de penetración vertical (D); esta es aplicada separadamente por resortes u otros medios sobre la sembradora –no en el tractor– para que el abresurcos permanezca sobre la tierra.

Todas esas fuerzas encuentran un punto de equilibrio, pero el problema surge cuando la posición del abresurcos cambia en relación con el bastidor de la sembradora. Por ejemplo, a medida que el abresurcos pasa por una pequeña depresión del terreno y se mueve hacia abajo –en relación al punto del pivote del bastidor de la sembradora– el componente horizontal de tiro (H) puede no cambiar, pero el componente vertical de tiro (V) aumentará porque la línea de tiro resultante que actúa a través del punto del pivote (R) será más aguda.

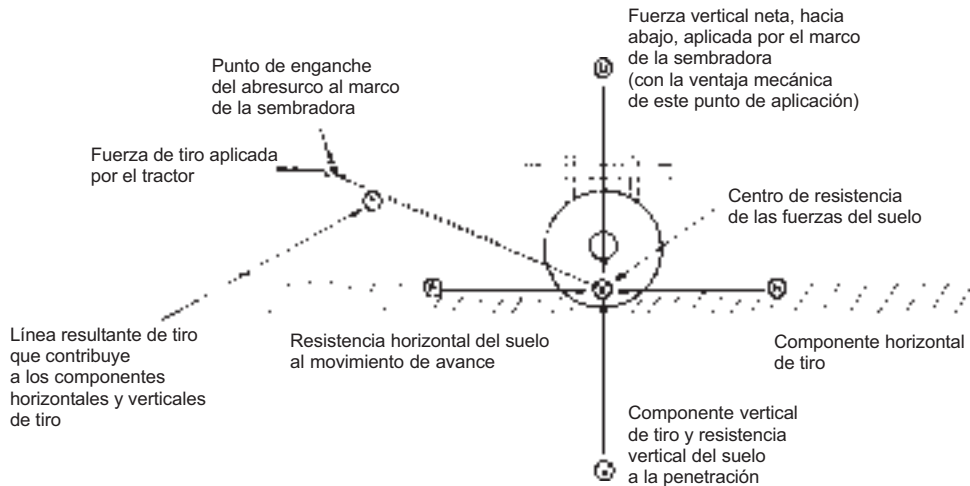


Figura 36 Distribución de las fuerzas que actúan sobre un abresurco para labranza cero a medida que es arrastrado a través del suelo.

Esto significa que habrá entonces una mayor fuerza hacia arriba oponiéndose a la fuerza neta vertical de penetración (D) sobre el abresurcos, que en el mejor de los casos permanece constante, lo que da como resultado una siembra más superficial. Esto sería un problema importante si la fuerza de penetración permaneciera constante, pero como el mecanismo de aplicación de la fuerza de penetración sobre la sembradora es por lo general un resorte, la fuerza de penetración realmente disminuye algo a medida que el abresurcos se mueve hacia abajo porque el resorte se estira. El efecto neto es una significativa reducción de la fuerza neta de penetración vertical (D) aplicada al abresurcos, y da como resultado una siembra más superficial en esa porción de terreno.

El efecto contrario ocurre cuando un abresurco pasa sobre una elevación del terreno. Típicamente, los abresurcos con este arreglo geométrico común siembran muy superficialmente en las depresiones y muy profundamente sobre las elevaciones.

Sin embargo, hay aún otros problemas. Si la resistencia del suelo al movimiento de avance (P) se incrementa porque la sembradora encuentra una zona de suelo más duro, la magnitud de la línea de tiro resultante (R) también se incrementa, aun cuando su pendiente pueda ser la misma. Esto a su vez incrementará el componente vertical de tiro (V), el cual salvo que sea compensado por un incremento en la fuerza vertical neta (D), dará lugar también a una siembra más superficial.

En realidad, tanto la superficie del suelo como la resistencia del movimiento de avance de los abresurcos individuales cambian continuamente bajo las condiciones de labranza cero. Como consecuencia, también cambia el componente vertical de tiro, lo que causa variaciones en la penetración.

El cuarto arreglo es común (Figura 35) en las sembradoras de precisión y en modelos más desarrollados de sembradoras para labranza cero. En este caso, la barra de tiro montada

en un pivote simple usada en el tercer arreglo es reemplazada por dos barras de tiro paralelas de igual longitud ordenadas en forma de paralelogramo como se ilustra a la derecha de la Figura 35. Los objetivos de esta configuración son cuatro:

1. Mantener una relación predecible entre los distintos componentes del armado de un abresurco. Por ejemplo, algunos abresurcos de las sembradoras de precisión tienen hasta seis componentes diferentes que siguen uno a otro en una relación fija. Si el conjunto fuera montado en una barra de tiro de un solo pivote (Figuras 35 y 36) y se moviera en forma de arco a medida que suben y bajan, la relación vertical entre los componentes traseros y delanteros se alteraría apreciablemente como si se movieran verticalmente.
2. Mantener un ángulo dado de aproximación de los componentes críticos con el suelo, sin considerar la posición vertical del montaje del abresurco. Por ejemplo, los abresurcos de ala tienen las alas que se tuercen ligeramente hacia abajo y hacia delante a un ángulo de 5 a 7° con la horizontal, de modo que pueden operar a poca profundidad con las alas aun bajo tierra. Si el abresurco estuviera montado en una barra de tiro de un solo pivote, el ángulo preestablecido del ala debería ser incrementado en cerca de 10° para asegurar que un ángulo positivo del ala permanezca por debajo del arco del movimiento. Pero en la posición intermedia un ángulo de 10° podría limitar la menor profundidad de la sembradora porque las alas saldrían a la superficie del suelo.
3. Reducir la magnitud de las fuerzas opuestas a la fuerza de penetración. Si bien la ordenación en forma de paralelogramo puede tener poco o ningún efecto favorable sobre el componente vertical de tiro opuesto a la fuerza de penetración, hay otra fuerza que también se opone a la fuerza de penetración en las barras de tiro de un

solo pivote: es la fuerza rotatoria que surge del tiro horizontal del suelo que actúa hacia atrás en la base del abresurco, que está siempre ubicado más bajo que el pivote.

4. Para facilitar el modelo de brazos de arrastre cortos y largos sin cambiar de posición o la geometría de la aplicación de la fuerza de penetración. La fuerza mecánica de los paralelogramos es tal que si se aplica en parte una fuerza de penetración en uno de los brazos horizontales, habrá una fuerza de penetración resultante detrás de los pivotes. Más aún, si se une un bastidor rígido a la parte trasera de esos pivotes, la misma fuerza de penetración será aplicada a cualquier punto a lo largo del bastidor rígido. Dado que un abresurco unido a la parte posterior de los pivotes de un paralelogramo actúa como un bastidor rígido horizontal, este principio se aplica a los abresurcos montados en brazos paralelogramos.

En los modelos de sembradoras, esto permite que los abresurcos de diferentes longitudes estén unidos a las uniones de los paralelogramos que crean oscilaciones para obtener la separación de los residuos y cada abresurco sufrirá la misma fuerza de penetración del abresurcos vecino.

Si bien las mejores innovaciones y los arreglos geométricos recién discutidos son sumamente útiles para asegurar que los abresurcos para labranza cero reciban fuerzas de penetración constantes en el extenso rango de sus movimientos, se debe enfatizar que la magnitud y la dirección de las principales fuerzas opuestas (por ej., los componentes ascendentes verticales del tiro y la resistencia del suelo) varían con las condiciones del suelo y la posición del abresurco en cualquier momento y, por lo tanto, raramente son constantes. Por esta razón, ningún arreglo geométrico diseñado hasta ahora tiene la capacidad para mantener una fuerza de penetración neta y consistente sobre un abresurco.

Restablecimiento de la fuerza de penetración

Un elemento adjunto a los requisitos generales de la fuerza de penetración en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza cero es la variedad de métodos usados para asegurar que una sembradora y una sembradora de precisión restablecen las fuerzas de penetración al nivel preseleccionado después que los abresurcos han sido levantados de la tierra para su transporte. El movimiento repetitivo de bajar y levantar los abresurcos es más común en la labranza cero que en la labranza común porque las vueltas cerradas con los abresurcos en posición de trabajo en la labranza común son más dificultosas. Algunos de los sistemas usados son:

1. Retorno manual a la guía. Cuando una sembradora o una sembradora de precisión son diseñadas para levantar los abresurcos usando uno o más émbolos hidráulicos del marco de la máquina, al volver a poner esos émbolos en la posición original el operador observa una guía que indica hasta dónde se han extendido o contraído previamente los émbolos y puede detener el ciclo en ese punto. Es posible que los operadores se olviden de observar la guía y, además, que esa operación manual reiterada agregue fatiga al operador. Por otro lado, este sistema permite que la fuerza de penetración en todos los abresurcos sea alterada por el operador sin dejar el asiento del tractor. Si una sembradora o una sembradora de precisión tienen enganche de tres puntos montado en el tractor, o si tienen montado separadamente un juego de ruedas para el transporte, el ajuste de la profundidad se obtiene por lo general cambiando una unión mecánica, un tornillo específico o la presión en una sección independiente del sistema hidráulico. Este ajuste permanece inalterado durante las operaciones de siembra y transporte. El regreso de la máquina a la tierra después del

transporte automáticamente restablece la magnitud de la fuerza de penetración original ya que ningún elemento ha sido alterado durante el transporte. Si bien esto reduce el trabajo del operador, las alteraciones a la fuerza de penetración a menudo requieren que el operador descienda del tractor.

2. Retorno a una detención o presión automática. Cuando una sembradora o una sembradora de precisión están diseñadas para levantar y bajar los abresurcos hidráulicamente, una válvula ajustable de control hidráulico o mecánico puede ser colocada en la máquina de modo que un movimiento predeterminado o el aumento de la presión de aceite mueva la válvula y detenga el sistema hidráulico en cualquier posición según una fuerza de penetración dada. Si bien esto facilita el trabajo del operador, hay una cierta demora mientras el sistema hidráulico del tractor mueve el émbolo a la posición predeterminada y las alteraciones de la magnitud de la fuerza de penetración requieren que el operador descienda del tractor. Un fabricante de tractores durante muchos años proporcionó un sistema de modulación de la presión en el sistema hidráulico en sus tractores. Este sistema permitió que el operador variara la presión hidráulica desde el puesto del operador, lo que es útil para dar presión a los émbolos en las sembradoras o en las sembradoras de precisión. La repetibilidad de este sistema simplemente confiaba en establecer un punto de detención en los controles hidráulicos del tractor. El operador volvía la palanca a su posición en el sistema hidráulico después de levantar y transportar la máquina.
3. Retorno automático. En algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero se incluye una «válvula de memoria» que utiliza los émbolos hidráulicos para la fuerza de penetración y para levantar el equipo. La válvula de memoria incrementa la repetibilidad de los procesos durante los frecuentes transportes y siembras, ya que

almacena automáticamente la presión de la fuerza de penetración en el(los) acumulador(es) de aceite sobre nitrógeno cuando se levanta para el transporte. Una vez que la sembradora retorna al suelo, la válvula de memoria automática e instantáneamente vuelve a la presión original del sistema de la fuerza de penetración sin necesidad de más atención por parte del operador. Esto aumenta la velocidad del ciclo para el transporte y la siembra y viceversa, lo que es importante para la eficiencia del trabajo y la precisión del operador. La presión de penetración puede ser cambiada en cualquier momento desde el asiento del operador.

Uno de los mayores problemas que ocurren con las sembradoras para labranza cero es que la magnitud de las fuerzas involucradas para la penetración y el arrastre pone una alta tensión inusual en la carga de los brazos de arrastre, en los abresurcos y en sus soportes. Este problema es exacerbado cuando las sembradoras y las sembradoras de precisión deben hacer giros. Los diseños más duraderos han usado cojinetes de bolas o de rodillos en el pivote del brazo de tiro en lugar de simples bujes como ocurre en las sembradoras convencionales.

Lamentablemente, algunos de los diseños simples de brazos de tiro convencionales también se han aplicado a las sembradoras para labranza cero más económicas. Estas unidades a menudo tienen problemas con los componentes y pierden precisión. Por ejemplo, los pivotes de los brazos de arrastre se desgastan prematuramente, es difícil mantener los abresurcos alineados verticalmente a la línea de tiro, lo que da origen a una profundidad de siembra imprecisa y a una distancia no uniforme entre surcos. La frecuencia de las roturas es mayor y a menudo se perjudica el manejo de los residuos. Las fallas de estas máquinas causan cierta frustración en los operadores y, como resultado, se pierde entusiasmo por la labranza cero.

Configuraciones de las ruedas y el remolque

Una característica importante de la labranza cero comparada con la labranza común es la capacidad de los suelos para soportar el tráfico de las ruedas sin daño de compactación y su resistencia al daño causado por las ruedas de máquinas y camiones. Si bien ocurre una cierta compactación, las poblaciones de la fauna del suelo y las bacterias lo devuelven a niveles sostenibles en respuesta a una menor disrupción de la labranza y a un incremento de la materia orgánica, que son los procesos restauradores naturales de los suelos vivos y mejoran rápidamente la mayoría de sus problemas.

Las sembradoras para labranza cero y, en menor grado, las sembradoras de precisión son más pesadas que las mismas máquinas para labranza, pero raramente es necesario aumentar el área de contacto de las ruedas, gomas o patines en forma proporcional a su peso, en razón del incremento de la resistencia a la carga de los suelos en que operan. De cualquier manera, no es necesario someter incluso los suelos no labrados a presiones de las ruedas de las sembradoras que son significativamente mayores que las ruedas de los tractores que las arrastran. Las ruedas de los tractores por lo general ejercen presiones en la zona de contacto entre 50 y 85 kPa (7-12 psi) y en el ancho de las huellas de las ruedas a 30-50 kPa (4-7 psi).

Como ocurre con las sembradoras y las sembradoras de precisión convencionales hay varias opciones de configuraciones de las ruedas. Algunas de estas, con sus atributos y limitaciones, se esbozan a continuación.

Ruedas traseras

Estas ruedas están colocadas en ambos extremos posteriores del bastidor de las sembradoras y de las sembradoras de precisión. Algunas sembradoras de precisión, en razón de

su amplio espacio entre surcos, tienen las ruedas colocadas entre los surcos a alguna distancia de la parte trasera de la máquina. Esto reduce las fuerzas laterales durante los giros y permite que dos o más máquinas trabajen conjuntamente.

Los diseños con ruedas traseras son adecuados para máquinas de hasta seis metros de ancho. Estas ruedas ofrecen una excelente maniobrabilidad y estabilidad en las laderas y son por lo general más económicas que otras opciones. Muchas máquinas usan una sola rueda en cada extremo de la máquina, por lo que necesitan ruedas adicionales para ser transportadas. Algunos diseños tienen pares de ruedas con brazos móviles que duplican el área de contacto, reducen los golpes y ofrecen la posibilidad de adaptarlas al remolque trasero.

Las sembradoras y las sembradoras de precisión con ruedas traseras no son adecuadas para unir varias unidades en forma paralela. Cuando se contempla un trabajo en estas condiciones es necesario organizar su colocación en una configuración desalineada y marcos separados para remolque, como se ilustra en la Figura 37. Por otro lado, la labranza cero ahorra tanto tiempo, que anteriormente se dedicaba a la labranza antes de la siembra, que la necesidad de múltiples sembradoras y sembradoras de precisión se reduce considerablemente.

Ruedas anteriores y posteriores

Estas configuraciones presentan una o más ruedas de dirección en cada parte del frente o la parte trasera de la máquina y por lo menos dos ruedas fijas en el extremo opuesto. La configuración reduce la distancia lateral entre las posiciones de las ruedas lo que permite el diseño de máquinas más anchas que las máquinas de ruedas traseras. Dado que no hay estructuras para las ruedas en los extremos de las máquinas, es posible reunir varias unidades, como se ilustra en la Figura 38. Tal sistema



Figura 37 Sembradoras con ruedas posteriores colocadas en un arreglo múltiple exterior.

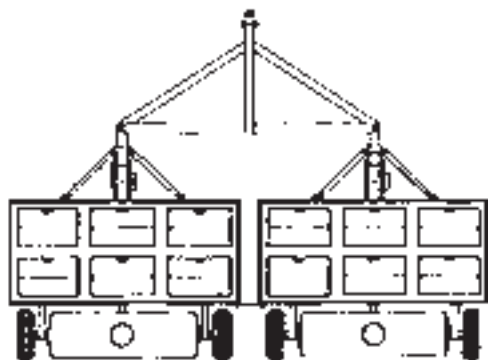
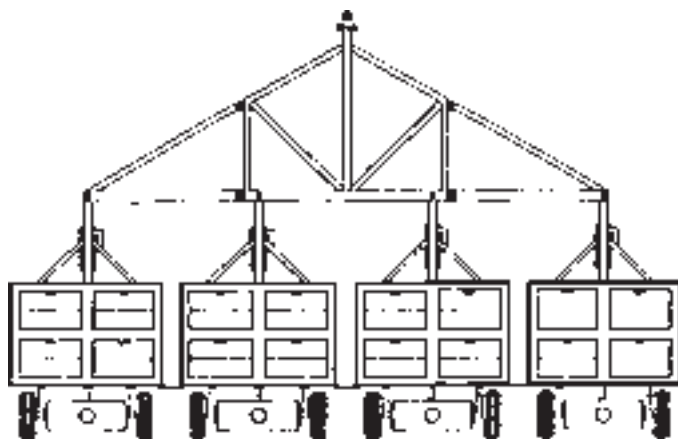


Figura 38 Sembradoras con arreglos de las ruedas anteriores y posteriores para operación de una unidad múltiple.

múltiple necesita una estructura de remolque mucho más simple que las máquinas con ruedas traseras.

Otra ordenación permite usar dos unidades sembradoras bien como sembradora de surcos angostos o como sembradora de precisión de surcos anchos. El espaciamiento de los surcos se establece según las necesidades en la configuración de la sembradora de precisión y se unen una detrás de la otra en una sembradora de precisión de doble ancho (Lámina 92). Cuando se requiere sembrar en surcos angostos las dos máquinas se unen en tándem, con los surcos de la unidad trasera dividiendo los surcos de la unidad delantera, lo que reduce así a la mitad el espaciamiento de los surcos.

Por supuesto, para que este sistema práctico sea funcional, los mecanismos de entrega de las semillas deben tener la suficiente precisión para satisfacer las necesidades de la sembradora de precisión y de los abresurcos. Pocas sembradoras son capaces de tener el grado de flexibilidad necesario para este trabajo. Es posible usar sembradoras dobles (que son

costosas y mecánicamente complicadas) o, de lo contrario, una u otra de las funciones de la entrega de las semillas queda comprometida.

Las opciones para las conversiones para el transporte con la configuración de ruedas anteriores y posteriores son múltiples y variadas. Un ejemplo de un arreglo práctico para una unidad sembradora de tres elementos se aprecia en la Lámina 93. Las dos unidades sembradoras externas se doblan hacia atrás después que la máquina se levanta del suelo para su transporte. Otras opciones incluyen doblar las unidades externas hacia arriba, pero esta opción está limitada a las sembradoras neumáticas y a las sembradoras de precisión con tapas que se bloquean para evitar el vuelco de los productos en las tolvas. Las tolvas para los productos en las sembradoras neumáticas están ubicadas en la unidad de la sembradora central y no participan en el doblado.

Otro arreglo para transportar dos sembradoras con ruedas anteriores y posteriores se muestra en la Figura 39.



Lámina 92 Unidades sembradoras dobles ordenadas en tándem para obtener una sembradora con espacio entre surcos reducido a la mitad.



Lámina 93 Sembradoras múltiples dobladas para el transporte.

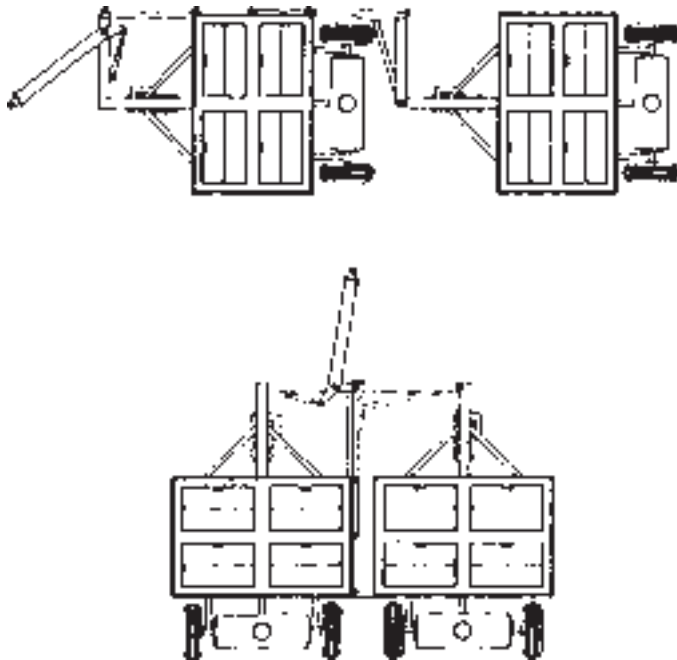


Figura 39 Un arreglo de remolque para sembradoras con dos ruedas anteriores y dos posteriores.

Adaptación de los tractores a las sembradoras y a las sembradoras de precisión

En la labranza convencional los tractores por lo general son seleccionados para adecuarse a los implementos que requieren mayor potencia, desde la primera labranza –por lo general una arada– hasta la siembra. Como las sembradoras y las sembradoras de precisión en la labranza convencional son los equipos que requieren menos potencia, los tractores raramente son seleccionados de acuerdo a esas necesidades, o viceversa. Por lo general se usa un tractor más pequeño para esas tareas.

En la labranza cero, la asperjadora es la única máquina de bajo requerimiento de potencia usada en el sistema. Las sembradoras y las sembradoras de precisión son los implementos que demandan más potencia y esta demanda puede exceder la potencia requerida por cualquiera de los implementos de labranza que estas reemplazan. Sin embargo, esto no significa que la labranza cero sea ineficiente en el uso de la energía; por el contrario, este único requerimiento de energía es varias veces más eficiente en el uso de la energía, contabilizada como litros de combustible usado por el tractor por hectárea sembrada, en todas las distintas operaciones necesarias, con menor insumo energético, hechas durante la labranza convencional.

Con las sembradoras de precisión, el número máximo de surcos que pueden ser sembrados con una sola máquina raramente es mayor de 12. La potencia requerida por estas máquinas difícilmente es, por lo tanto, un factor limitante, incluso bajo labranza cero, con las sembradoras para labranza cero que tienen hasta 50 abresurcos.

La primera vez que los agricultores enfrentan la labranza cero deben cambiar sus evaluaciones para adecuar correctamente la potencia de los tractores a los requerimientos de las sembradoras y de las sembradoras de precisión. Las dificultades surgen en varios aspectos:

1. Los agricultores no están acostumbrados a pensar en los requerimientos de potencia de las sembradoras.
2. Hay escasa información disponible para los agricultores acerca la potencia específica y/o los requerimientos de fuerza de arrastre de las diferentes sembradoras y sembradoras de precisión.
3. Dado que las sembradoras para labranza cero por lo general son más pesadas que las sembradoras para labranza convencional, serán necesarios algunos requisitos de potencia para mover el peso de la máquina, especialmente en zonas de laderas.
4. Dado que las sembradoras y las sembradoras de precisión trabajan por lo general en tierras no labradas y a menudo duras, son más sensibles a la velocidad que las sembradoras para labranza convencional, especialmente en lo que se refiere a la demanda de potencia.
5. Por otro lado, dado que la labranza cero es mucho más eficiente que la labranza convencional, las altas velocidades pueden no ser tan importantes para las sembradoras y las sembradoras de precisión.
6. A menudo, en la labranza cero la tracción de un tractor es más importante que la potencia disponible del motor; por lo tanto, es probable que sean más útiles los tractores con tracción en las cuatro ruedas.
7. Dado que cuando se siembra con sembradoras para labranza cero los giros en las esquinas son más difíciles que con las sembradoras en el sistema convencional, más campos son sembrados en fajas. Esto demanda giros agudos al inicio de las parcelas o giros cruzados en las esquinas, lo que exige una cierta capacidad de giros estrechos al tractor y a la sembradora.
8. Es probable que el uso anual del tractor para las sembradoras y las sembradoras

de precisión sea considerablemente reducido en la labranza cero comparada con la labranza convencional. Esto significa que los costos anuales del tractor son menores, que los tractores duran más tiempo y que son reemplazados en plazos más largos pero, sin embargo, el costo horario se puede incrementar.

9. Aumenta la necesidad de seguimiento continuo de las funciones de las sembradoras y las sembradoras de precisión desde el asiento del tractorista porque el agricultor que trabaja con labranza cero tiene solo una oportunidad para hacer las cosas correctamente.
10. El suelo en las huellas de las ruedas en labranza cero a menudo se afloja a causa de la gran demanda de tracción mientras que bajo labranza convencional resulta casi invariablemente compactado. Los tractores que trabajan cerca del límite de tracción causarán más suelo suelto y, por lo tanto, mayores diferencias en el comportamiento de los abresurcos entre aquellos que están dentro o fuera de las áreas de las huellas de las ruedas.

Es difícil generalizar los requisitos de potencia de las sembradoras para labranza cero porque tienen un gran rango de peso y arrastre. Ignorando el peso de la sembradora es posible hacer algunas generalizaciones a partir del Cuadro 27 acerca de los requerimientos de potencia de los abresurcos individuales para labranza cero. Si bien se muestran los requerimientos de arrastre para solo dos abresurcos (de disco triple y de ala), estos dos modelos están cercanos a cada uno de los extremos del rango de requerimientos para los abresurcos para labranza cero. Por lo tanto, sus requerimientos pueden reflejar un rango de necesidad de potencia para los abresurcos para labranza cero en general.

La potencia requerida para arrastrar un abresurco a través del suelo es dada por la expresión:

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{tiro (newton)} \times \text{velocidad (km/h)}}{3\,600}$$

o

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{tiro (libras)} \times \text{velocidad (millas/h)}}{375}$$

En el Cuadro 27 se observa que a una velocidad de 5 km/h (3 mph) un abresurco simple de triple disco podría requerir hasta 2,3 kW (3 HP) de potencia y un abresurco simple hasta 2,9 kW (3,8 HP). A 10 km/h (6 mph) los respectivos requerimientos de potencia serían de 4,6 kW (6 HP) y 5,8 kW (7,6 HP).

En general, los requerimientos de potencia de las sembradoras y las sembradoras de precisión varían entre 2 y 6 kW (2,5 y 8 HP) por abresurco, dependiendo de la velocidad de siembra, las condiciones del suelo, el tipo de suelo, la densidad y el estado de descomposición de las raíces en el suelo, el contorno del campo, la forma de trabajar el campo, el diseño del abresurco y el peso de la máquina. Considerando una eficiencia de tracción del tractor del 65 por ciento, este debería requerir un motor de una potencia comprendida entre 3 a 9 kW (4 a 12 HP) por abresurco, cifra que se aproxima a la experiencia de campo.

Almacenamiento y entrega de los productos

Para manejar productos tales como semillas, fertilizantes e insecticidas, las características más distintivas de las sembradoras para labranza cero, en comparación con las similares para labranza convencional, son la necesidad de espaciar ampliamente los abresurcos para separar los residuos superficiales. En el caso de las sembradoras de precisión los abresurcos están espaciados también ampliamente en una sola línea. No existe una distinción importante

entre las sembradoras de precisión para labranza cero y para labranza convencional.

Con las sembradoras, el espaciamiento mayor que el normal de los abresurcos por lo general se obtiene aumentando la distancia longitudinal entre los abresurcos alternados, dado que el espacio entre los surcos de los abresurcos no puede ser alterado sin afectar la agronomía del cultivo. Este incremento en el espaciamiento longitudinal da lugar a tubos largos para la entrega de las semillas y ángulos llanos de caída entre las tolvas y los abresurcos, si es que son provistos con una sola tolva. Tales ángulos llanos interrumpen el flujo gravitacional normal, especialmente en las laderas. El problema es superado en una de las siguientes formas:

1. Levantando las tolvas de los productos a una altura mayor para incrementar los ángulos de caída en los tubos (Lámina 94).
2. Duplicando el número de tolvas de modo que cada una esté colocada sobre los abresurcos a una altura y ángulo de entrega normales.
3. Utilizando la entrega neumática del producto a los abresurcos desde una tolva central (Lámina 55).

Existen argumentos en favor y en contra de cada una de las opciones. Por ejemplo, la duplicación del número de las tolvas aumenta el costo de las sembradoras pero incrementa la cantidad de producto que puede ser llevado y, por lo tanto, reduce el número de veces que la máquina está fuera del trabajo activo para llenar la tolva y, temporalmente, agrega peso a la máquina lo que puede agregar fuerza de penetración. Los sembradores neumáticos son poco costosos pero los modelos grandes llevan el peso del producto en un eje separado donde ni este ni el peso de las mismas tolvas contribuyen al peso general de la máquina para agregar fuerza de penetración.

Las tolvas altas son económicas pero difíciles de llenar y contribuyen a la inestabilidad de la sembradora en las laderas. En las laderas pronunciadas un modelo de sembradora con tanques para fertilizante líquido ofrece la posibilidad de deslizar el tanque hacia el lado



Lámina 94 Una sembradora para labranza cero con tolvas elevadas para los productos.



Lámina 95 Una sembradora para labranza cero con un tanque deslizante para fertilizante líquido.

superior de la inclinación de la ladera para mejorar la estabilidad (Lámina 95). No se conocen modelos que puedan cambiar la posición de las tolvas sobre la marcha.

Dado que los residuos superficiales comunes en la labranza cero ofrecen un hábitat favorable para las plagas –y sus predadores– a menudo es necesario aplicar insecticidas con la semilla en el momento de la siembra. Para ello son comunes tolvas para gránulos secos y/o para insecticidas líquidos en algunos modelos de sembradoras y sembradoras de precisión. Algunos fabricantes de sembradoras de precisión han colaborado con los fabricantes de pesticidas para proveer sistemas cerrados de transferencia de insecticidas. Esto proporciona un manejo más seguro de los pesticidas si bien los operadores deben tener cuidado con los residuos de pesticidas en las sembradoras y las sembradoras de precisión durante el mantenimiento.

El concepto de siembra y aspersión simultánea montando una barra pulverizadora sobre la sembradora o la sembradora de preci-

sión fue investigado en Nueva Zelanda. Si bien tal diseño podría haber hecho que la labranza cero fuera realmente una operación única, la idea no fue considerada práctica por varias razones:

1. Fue posible sembrar en días en los cuales no era aconsejable o posible asperjar debido al viento o la lluvia que podían comprometer la eficacia de las distintas formulaciones de herbicidas o pesticidas. Al restringir las oportunidades de siembra a las oportunidades en que era aconsejable, se perdían algunas de las ventajas del ahorro de tiempo de la labranza cero.
2. Se introducía otra función adicional que debía ser observada y/o supervisada por el operador, lo que aumentaba el potencial de errores.
3. Algunos abresurcos desplazan o levantan suelo y causan polvo que inactiva los herbicidas más comúnmente usados en la labranza cero (glifosato y paraquat). La aspersión es más precisa con una operación

separada hecha por un especialista antes de la siembra.

Si bien la aplicación de herbicidas que cubren todo el campo en el momento de la siembra no parece ser práctica, la aplicación en bandas se ha usado exitosamente (ver Capítulo 12).

Resumen de modelos de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala

1. Los modelos de sembradoras para labranza cero deben ser más elaborados que aquellos para labranza convencional.
2. Las sembradoras para labranza cero son invariablemente más pesadas que las sembradoras para labranza convencional y están sometidas a mayor estrés durante la operación.
3. El desgaste y el mantenimiento general son más importantes y costosos en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza cero que en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza convencional.
4. La potencia del motor del tractor requerida para operar las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero varía entre 3 a 9 kW (4 a 12 HP) por abresurco.
5. Los requerimientos de potencia para las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero son más sensibles a la velocidad de operación que aquellos para las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza convencional.
6. En general, para la siembra en labranza cero se necesitan tractores más grandes.
7. En la labranza cero los tractores operan menos horas por año que los tractores en la labranza convencional, sus costos operativos por hora son más altos que los últimos pero los costos anuales totales son menores.
8. El total de la energía consumida por hectárea sembrada y los costos operativos anuales de todos los equipos son mucho más bajos en la labranza cero que en la labranza convencional.
9. Las sembradoras para labranza cero son generalmente más angostas que las sembradoras para labranza convencional en virtud de los mayores requerimientos de potencia. Las sembradoras de precisión para labranza cero pueden tener el mismo ancho de las sembradoras de precisión para labranza convencional en razón del menor número de abresurcos.
10. Aunque no es necesario avanzar tan rápidamente durante la siembra y la siembra de precisión en la labranza cero como en la labranza convencional en razón de la eficiencia del tiempo del sistema en su conjunto, algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero son en realidad más veloces que las mismas máquinas para labranza convencional.
11. El análisis del tiempo necesario para cubrir un campo con una sembradora relativamente angosta para labranza cero comparada con la sembradora más ancha para labranza convencional indica que esta última requiere más tiempo para cumplir operaciones homólogas.
12. Los sistemas de fuerzas de penetración de las sembradoras y las sembradoras de precisión deben ser más desarrollados, ejercer mayor fuerza y tener una mayor amplitud de recorrido que las máquinas para labranza convencional.
13. La geometría de los abresurcos para labranza cero de las uniones de la barra de arrastre deben compensar el incremento de las fuerzas de arrastre.
14. Las barras de arrastre en paralelogramo con sistemas hidráulicos presurizados con gas o aceite para la fuerza de penetración

- proporcionan fuerzas de penetración y profundidades de siembra más uniformes.
15. Los bastidores de las sembradoras y de las sembradoras de precisión deberían ser sobre ruedas para evitar o minimizar los golpes en el terreno desuniforme.
 16. El giro en los ángulos del campo con las sembradoras y las sembradoras de precisión es más dificultoso en la labranza cero debido a la firmeza de los suelos.
 17. La firmeza del suelo en la labranza cero soporta mejor el arrastre de las ruedas en los giros que en la labranza convencional.
 18. En la labranza cero son deseables sistemas automatizados que retornan rápidamente a valores preseleccionados de las fuerzas de penetración al abresurcos después de levantarlos para el transporte en razón de que es necesario levantar los abresurcos con mayor frecuencia.
 19. La configuración de las sembradoras y las sembradoras de precisión con las ruedas posteriores son generalmente la versión más económica pero tienen un ancho máximo de aproximadamente 6 metros.
 20. La configuración con ruedas anteriores y posteriores permite mayores profundidades de siembra y la unión paralela simple de dos o más sembradoras o sembradoras de precisión.
 21. La entrega de los productos de las tolvas a los abresurcos para labranza cero es en cierto modo más compleja que en la labranza convencional a causa de la necesidad de un mayor espaciamiento entre los abresurcos adyacentes para labranza cero a fin de separar los residuos de la superficie.
 22. Dado que los abresurcos en las sembradoras de precisión para labranza cero y para labranza convencional están ampliamente separados, hay menores requerimientos especiales para la entrega de los productos en las sembradoras de precisión para labranza cero en comparación con las sembradoras.

14

Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión – máquinas para pequeña escala

Fatima Ribeiro, Scott E. Justice, Peter R. Hobbs y C. John Baker

La labranza cero en pequeña escala no solo es práctica sino que también puede ser el mejoramiento más importante de la producción agrícola y de la protección de los recursos que ocurre en los últimos cien años en los países en desarrollo.

Características

La labranza cero en pequeña escala por lo general se caracteriza por las pequeñas dimensiones de las fincas y la limitada disponibilidad de energía, acompañada a menudo por escasos recursos. La operación con implementos para tractores de gran tamaño no es práctica ni posible para la mayoría de los agricultores en fincas pequeñas. Por estas razones, en casi todos los casos los pequeños agricultores usan equipos manuales o sembradoras y sembradoras de precisión de uno o dos surcos. También existen algunas sembradoras de tres surcos, pero se encuentran con poca frecuencia.

El número limitado de surcos tiene influencia sobre varias funciones, entre ellas el modelo de los abresurcos. Algunas de estas influencias son positivas, otras no. Por ejemplo, muchos de los modelos más avanzados de abresurcos analizados anteriormente requieren hasta 12 HP por abresurco que a menudo están fuera del alcance de los pe-

queños agricultores. Además, los abresurcos no simétricos, tales como los de discos angulados, raramente son considerados como una opción para las máquinas de un solo surco porque las fuerzas laterales son demasiado difíciles de contrarrestar y al mismo tiempo mantener la máquina en línea.

Pero la labranza cero en pequeña escala se beneficia con la atención directa del operador en cada metro trabajado, mientras que las malezas y los residuos a menudo son manipulados manualmente o recolectados para ser usados como combustibles o como cama para los animales.

Otro beneficio es que la mayoría de los abresurcos en pequeña escala colocan al mismo tiempo las semillas y el fertilizante en ranuras separadas. Desde este punto de vista pueden ser consideradas máquinas más desarrolladas que las similares más grandes, algunas de las cuales no fertilizan en condiciones de labranza cero en razón de la complejidad de obtener esa función con múltiples surcos poco espaciados.

Por esta razón, mientras que los equipos en pequeña escala podrían estar desaventajados en algunos aspectos en razón de la imprescindible simplicidad de las sembradoras, de las sembradoras de precisión y de la potencia disponible, pueden, por esas razones, beneficiarse en otros aspectos.

Disponibilidad de equipos

Existe una amplia gama de equipos de siembra para labranza cero en pequeña escala, cada uno de los cuales es adecuado para diferentes fuentes de potencia y condiciones de campo. Esta variabilidad incluye sembradoras mecánicas manuales, sembradoras para tracción animal, equipo para labranza a motor y sembradoras para tractores de baja potencia. A pesar de las diferencias del requerimiento de potencia, los modelos de la mayoría de las máquinas pequeñas satisfacen la necesidad de poder manejar los residuos, abrir una ranura adecuada, dosificar las semillas y tal vez el fertilizante, distribuirlos al (a los) abresurco(s), colocarlos en el suelo en forma aceptable y cubrir y comprimir las semillas y el fertilizante.

Sembradoras mecánicas manuales (*Matraca*)

Las sembradoras mecánicas manuales, conocidas comúnmente como *Matraca*, son muy populares entre los pequeños agricultores. Algunas son el elemento primario para la siembra en labranza cero. Otras se utilizan para llenar los vacíos en los cultivos sembrados con sembradoras en líneas. Dado que la capacidad para manejar los residuos de las pequeñas sembradoras y sembradoras de precisión a menudo es limitada, se encuentran espacios vacíos cuando hay problemas con el manejo de los residuos a lo largo del surco.

Las sembradoras *Matraca* pueden tener tolvas separadas para la semilla y el fertilizante o solo una tolva para las semillas. La Lámina 96 ilustra una sembradora *Matraca* de dos tolvas.

Una forma común de dosificar las semillas usada en la sembradoras manuales es un plato rectangular colocado dentro de la tolva. Cuando se tiran las manijas hacia afuera las semillas caen en los agujeros y salen por el tubo de descarga. Hay platos con diferentes medidas

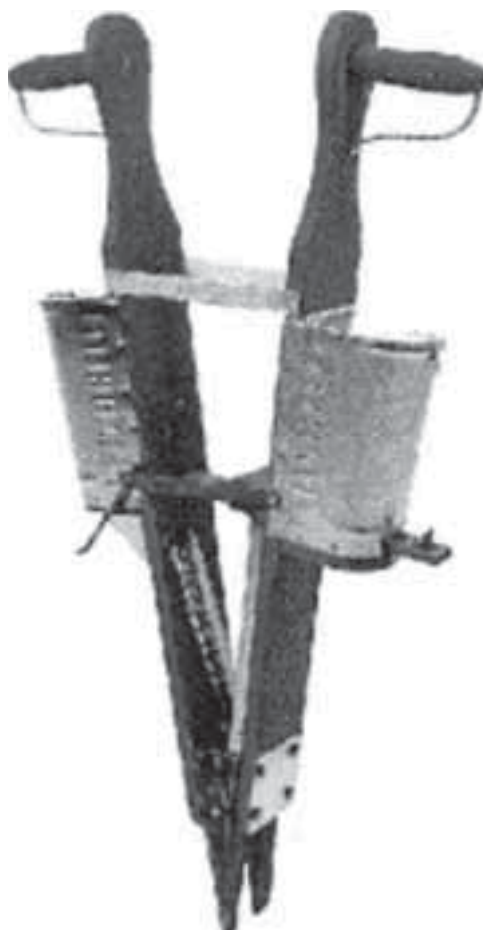


Lámina 96 Sembradora *Matraca* con tolvas para las semillas y el fertilizante.

de agujeros de acuerdo a la medida de las semillas a sembrar. La densidad de siembra puede ser ajustada de acuerdo al número de agujeros en el plato de semillas que quedan expuestos hacia la salida del tubo.

Una parte de la atracción de las sembradoras *Matraca* es que no requieren acceso a potencia animal o motriz, son de bajo costo, livianas y fáciles de utilizar, si bien es necesario tener cierta capacidad para su manejo (Ribeiro, 2004). Son usadas indistintamente por hombres y mujeres, lo cual aumenta la disponibilidad de mano de obra de los pequeños agricultores,

aunque recordamos, sin embargo, que la labranza cero en pequeña escala reduce la necesidad de mano de obra.

Al plantar las semillas en huecos hay un disturbio mínimo del suelo de modo que la germinación de las semillas de las malezas se reduce considerablemente; esto da lugar a una menor necesidad de escardar entre las plantas. Las dimensiones reducidas de los aparatos los hacen adecuados para operar en zonas de laderas, pedregosas o con troncos y para la siembra intercalada (por ej., siembra de mucuna entre surcos de maíz) y para sembrar en zonas de barbechos.

Su uso es apropiado para suelos livianos ya que la penetración en algunos suelos pesados sin labranza es dificultosa. Cuando se trabaja en condiciones húmedas es posible que, en algunos suelos arcillosos, el suelo se adhiera a las láminas y la cobertura de las semillas pueda ser afectada por los huecos en forma de V y por el disturbio mínimo (Ribeiro, 2004). Esta limitación ocurre frecuentemente con las ranuras continuas en forma de V y no está limitada a los huecos comunes. Sin embargo, en la fase de transición de la labranza convencional a la labranza cero, puede ser difícil usar una sembradora Matraca; en ese caso es posible usar un rasgador para aflojar fajas angostas del terreno en las cuales la sembradora Matraca pueda colocar las semillas.

Muchas sembradoras Matraca u otros aparatos similares para labranza cero son adaptaciones de aparatos diseñados para trabajar en suelos labrados. La modificación principal ha sido incluir puntas más largas y más angostas para facilitar la penetración. Tal mejoramiento requiere menor fuerza de penetración por parte del operador y ayuda a cortar los residuos y penetrar en el suelo, lo que da lugar a ranuras menos abiertas. Esto ha resultado en un aumento de la emergencia del 28 y del 23,6 por ciento en maíz y caupí, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos con puntas cortas que operaban sobre residuos pesados (Almeida, 1993).

Sembradoras en línea (de tracción animal o montadas en el tractor)

Los principios de la operación de las pequeñas sembradoras para tracción animal o montadas en el tractor para la labranza cero son los mismos que para las máquinas más grandes. Algunas de esas características se analizan líneas abajo y se hacen comparaciones entre las máquinas grandes y las pequeñas en lo que se refiere a las condiciones de operación.

Fuerza de penetración

En el caso de las máquinas pequeñas existe la oportunidad de colocar pesas como método para obtener fuerza de penetración; también se usan resortes pero los sistemas hidráulicos son raros. De cualquier manera las pesas cumplen las mismas funciones del sistema hidráulico a un costo mucho menor. En su forma más simple y económica, las pesas pueden ser colocadas por el operador desde una plataforma en la máquina. La Lámina 97 muestra una máquina para un solo surco montada directamente en un pequeño tractor. Presenta la ventaja de que las pesas se montan o se quitan fácilmente y el operador sólo debe subir a la plataforma.

Dado que las pesas aplican una consistente fuerza de penetración sin considerar la posición vertical del abresurcos, actúan en forma similar a los sistemas hidráulicos de aceite sobre gas aplicados a émbolos individuales en cada abresurcos, que son una característica de algunos de los modelos más avanzados de grandes sembradoras para labranza cero.

Por ello, algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero en pequeña escala pueden proporcionar un sistema de fuerza de penetración más adelantado que algunas máquinas grandes menos desarrolladas. La modulación electrónica de la fuerza de penetración en respuesta a la dureza del suelo no puede ser obtenida en las máquinas pequeñas y, viceversa, la aplicación directa de pesas tampoco es una opción práctica para las máquinas más grandes. Los operadores deberían

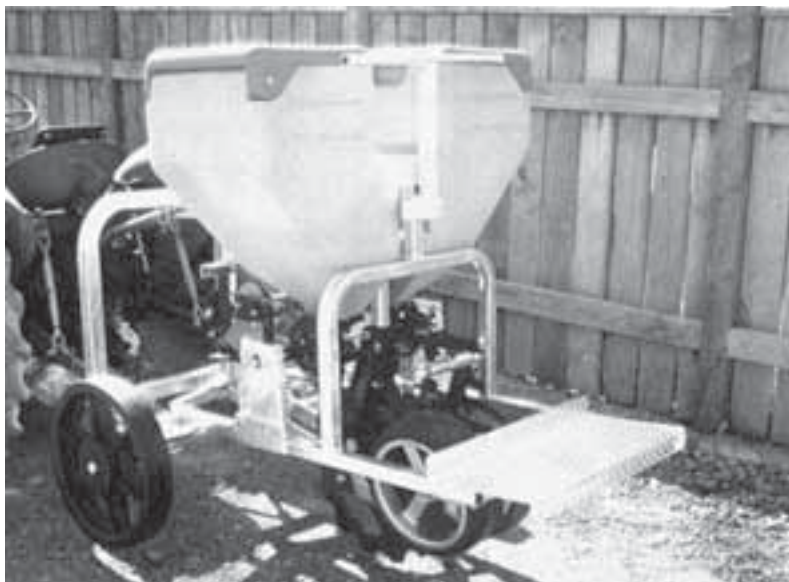


Lámina 97 Sembradora para un solo surco montada en un tractor que obtiene su penetración en base a pesas.

agregar o quitar numerosas pesas cada vez que la fuerza de penetración varía. Esto podría ser aceptable en una máquina de un solo surco pero no en el caso de una máquina para múltiples surcos.

La Lámina 98 muestra los principales componentes de una sembradora típica para labranza cero en pequeña escala. El disco (1) corta la paja (la efectividad del corte de la paja en esta forma en muchos casos es insuficiente; ver Capítulo 10). Los aparatos para dosificar están colocados en la base de las tolvas para las semillas (2) y el fertilizante (3). Los abresurcos (4 y 5) abren las ranuras para colocar el fertilizante y las semillas, respectivamente. Por lo general, el abresurco del fertilizante (4) opera más profundamente y fuera de la línea del abresurco de las semillas (5), tal como ocurre en las máquinas más grandes. La rueda compactadora (6) controla la profundidad de siembra y aprieta el suelo sobre la ranura. La efectividad de las ruedas compactadoras sobre el suelo de la ranura,

comparada con la operación en la base de la ranura antes de la cobertura, se analizó en el Capítulo 6. En general, el trabajo más importante de las ruedas compactadoras, que operan tal como se muestra en la Lámina 98, es sobre todo el de cobertura, además de mejorar el contacto suelo-semilla.

Discos

Todos los principios de manejo de los discos y los residuos discutidos en el Capítulo 10 se aplican igualmente a las máquinas en pequeña escala, excepto en el caso de las máquinas de un surco en las que hay un mayor espacio alrededor del abresurco para que los residuos caigan sin bloquear la máquina.

La mayoría de las sembradoras para labranza cero en pequeña escala tienen discos, la efectividad de los cuales depende del diámetro y diseño del disco (planos, con muescas, ondulados o cóncavos), las condiciones del suelo, las condiciones de los residuos y los ajustes de la sembradora. Un mal corte de los residuos da

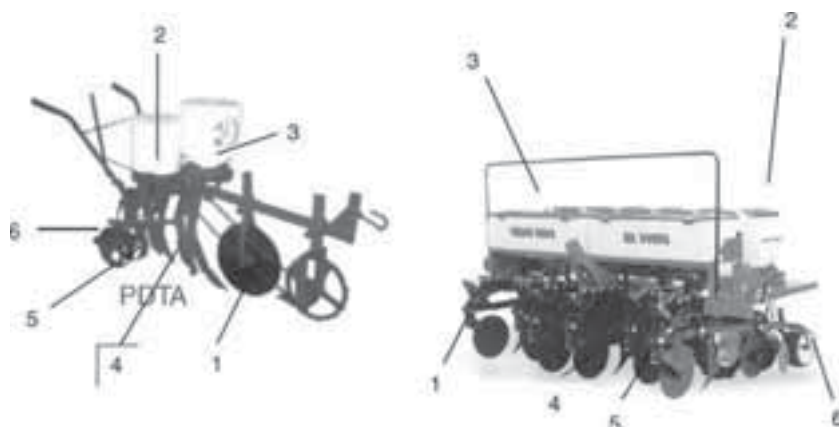


Lámina 98 Principales componentes de una sembradora típica para labranza cero en pequeña escala, para tracción animal o montada en un tractor.

lugar al atascamiento de la paja sobre los componentes de la siembra, lo que a su vez causa problemas para la colocación y cobertura de la semilla y el fertilizante e incluso para la dosificación de ambos elementos.

La distribución uniforme de la paja da lugar a que se enrede en los discos y envuelva los residuos en los abresurcos, si bien Casão y Yamaoka (1990) indican que la severidad del bloqueo puede ser reducida –raramente eliminada– con el incremento de la distancia entre el disco y los dientes fijos que los siguen; los autores recomiendan una distancia de 25 mm.

Por otro lado, algunas de las combinaciones más exitosas de dientes y discos tienen los discos muy cercanos a los dientes. Un ejemplo se aprecia en la Lámina 99 (diente central) en el cual se forma un canal en el borde delantero del diente especialmente para que el disco entre en el mismo. La Lámina 25 muestra la versión de disco de un abresurco de ala en el cual dos dientes frotran contra la cara lisa de un disco.

Abresurcos

Las funciones de los abresurcos en la labranza cero en pequeña escala no son diferentes

de aquellas que cumplen las máquinas en gran escala, tal como se mostró en los Capítulos 4, 5, 6 y 7. En las sembradoras en pequeña escala con abresurcos con dientes debería haber un ajuste independiente del abresurco del fertilizante de modo que pueda ser colocado más profundamente que las semillas (Van Raij *et al.*, 1985). Si bien la colocación del fertilizante debajo de la semilla en la labranza cero no siempre da lugar a los mejores rendimientos (ver Capítulo 9), en las sembradoras y en las sembradoras de precisión en pequeña escala es una opción más válida que la colocación del fertilizante a lo largo del surco de la semilla, porque la última opción requiere que el abresurco del fertilizante opere en tierra nueva y necesita más potencia que cuando ambos abresurcos –semillas y fertilizante– operan a distintas profundidades en una ranura común. De cualquier manera, el fertilizante colocado dentro de la zona de la semilla es sin duda superior a la siembra a voleo que causa un acceso lento del cultivo al mismo y un incremento del crecimiento de las malezas.

Como ocurre con las máquinas grandes también existen ventajas para las ranuras con disturbio mínimo (ver Capítulos 5, 10 y 13). Mientras que la elección del tipo de abresurco



Lámina 99 Distintos abresurcos de dientes usados en sembradoras de precisión para tracción animal y labranza cero. El abresurco central tiene un surco en su borde delantero por el cual pasa el disco delantero.

podría depender de la resistencia del suelo a la penetración y la resistencia que opone el corte de los residuos, no es posible que los agricultores en pequeña escala que aplican la labranza cero cuenten con más de una máquina, como ocurre con los grandes productores.

Por lo tanto, para que estas máquinas sean útiles para los distintos agricultores, es inevitable que la elección de los abresurcos preferidos sea hecha en función de la mayor gama de condiciones posibles. La labranza tiene como objetivo reducir la variabilidad física entre los distintos tipos de suelos, de modo que las sembradoras no tengan que enfrentar condiciones variables, pero cuando se elimina el proceso de labranza el énfasis se dirige a la capacidad de los abresurcos para enfrentar esta variabilidad sin otra ayuda. Por definición, esto demanda abresurcos para labranza

cero más evolucionados, sin tener en consideración la escala de operación.

Los abresurcos de disco (ranuras en V, cobertura Clase I) se usan generalmente en las sembradoras y en las sembradoras de precisión en pequeña escala. Las ranuras son superficialmente angostas y pueden ser compactadas en su base y en los lados pero requieren menos potencia que los abresurcos de discos con dientes que tienen menos tendencia a la compactación. Con los abresurcos de doble disco de diámetro diferente, al ser estos de menor tamaño, giran más rápidamente que el disco grande y se crea un efecto de corte o «guillotina» (Lámina 3).

En la Lámina 99 se aprecian una serie de abresurcos de dientes. Por lo general, los dientes requieren menos fuerza de penetración que los abresurcos de doble disco, lo que contribuye a mantener una profundidad de siembra más uniforme, siempre que esté incluido un mecanismo de control de profundidad. Los dientes se prefieren en los suelos duros si bien su fuerza de arrastre puede resultar excesiva para la potencia disponible. Además, los dientes son susceptibles a bloquearse con residuos y no son adecuados para zonas pedregosas.

De cualquier manera, la mayoría de las sembradoras de precisión usadas en la agricultura en pequeña escala tienen dientes en razón de su mejor penetración en la tierra dura y de su facilidad de mantenimiento. Cuando el encostamiento del suelo es un problema, por ejemplo después del pisoteo del ganado sobre suelo húmedo, solamente las sembradoras de precisión con abresurcos de dientes montadas en un tractor pueden romper la compactación de la superficie del suelo, aun cuando esta sea de solo 100 mm.

Aparatos para dosificar las semillas

Los investigadores debaten acerca de la importancia del espaciamiento de las semillas a lo largo del surco en algunos cultivos como el maíz (Sangoi, 1990; Rizzardi *et al.*, 1994). Las últimas evidencias indican que la

emergencia uniforme de las plantas a lo largo del surco puede ser más importante que el espaciamiento para reducir la competencia entre las plantas pequeñas y las plantas grandes. Pero, si bien en la labranza común se acepta la norma del «espaciamiento perfecto», quienes son favorables a la labranza cero también deben satisfacer este requisito para no generar un factor negativo contra la labranza cero.

Los aparatos para la dosificación de las semillas son responsables de la regulación de la densidad de siembra (número de semillas/m²) y el espaciamiento entre las semillas (regularidad del espaciamiento entre las semillas dentro del surco); de esta manera se asegura su precisión.

Los pequeños agricultores siembran la mayoría de los cultivos en surcos anchos; por lo tanto, la colocación individual de las semillas es importante. Por esta razón, en su diseño se enfatizan los mecanismos de siembra y requerimientos de potencia como criterios prioritarios. Esto contrasta con las grandes sembradoras de precisión para labranza cero en las que el microambiente de las ranuras, el manejo de los residuos y la colocación del fertilizante en bandas asumen por lo menos una importancia igual al espaciamiento de las semillas y a los requerimientos de potencia.

Las experiencias de labranza cero en Brasil ofrecen comparaciones y contrastes interesan-

tes entre las máquinas para siembra en pequeña escala y las máquinas para ser arrastradas por el tractor. Ambos sistemas se usan ampliamente en todo el país en diversas zonas climáticas y socioeconómicas, incluso en áreas relativamente cercanas entre sí.

Los aparatos usados en Brasil para dosificar las semillas en las sembradoras de precisión para tracción animal en labranza cero presentan todos los mismos platos con el sistema por gravedad que se usan en las sembradoras de precisión montadas en tractores, o sea, platos de hierro fundido o de plástico. La Lámina 100 muestra un aparato para dosificar las semillas y varios platos diferentes. Algunos fabricantes proveen platos para semillas adecuados para semillas pequeñas (por ej., canola, vicia, rábano forrajero) así como también para maíz y otras semillas grandes.

El uso de tales aparatos ha sido favorecido por su costo relativamente bajo, dado que en muchos países en los que no existe la pequeña agricultura estos aparatos funcionan al vacío, con presión de aire o del tipo de «dedos», lo que implica que la semillas son levantadas, sopladadas o atrapadas contra platos verticales en lugar de caer por gravedad en los huecos o muescas de los platos horizontales. Los mecanismos de siembra con platos verticales son más rápidos y menos sensibles a la forma de las semillas que los platos sembradores horizontales,

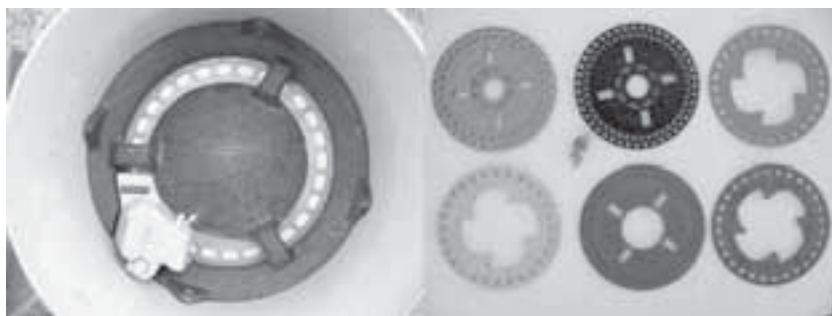


Lámina 100 Plato para el aparato dosificador de semillas (izquierda) usado en sembradoras de precisión y varios tipos de platos para semillas (derecha).

pero también son más costosos. Por supuesto, los platos para los sistemas al vacío o con aire también requieren un ventilador para hacerlos funcionar, el cual podría ser difícil de instalar y utilizar en una máquina para tracción animal sin motor.

Los platos distribuidores horizontales son un sistema muy antiguo, refinado y bien probado anterior a los sistemas de platos verticales, actualmente de uso común en las sembradoras de precisión. No es sorprendente, por lo tanto, que Ribeiro (2004) evaluara en Brasil la uniformidad de distribución de las semillas de maíz a lo largo del surco con cuatro modelos de platos sembradores y que no encontrara diferencias significativas entre los modelos en la proporción de espacios normales, salteados y múltiples. Los resultados se resumen en la Figura 40.

Para ser más efectivos los platos horizontales requieren que la semilla haya sido clasificada por tamaño uniforme y que los huecos de los platos se correspondan con el tamaño seleccionado de las semillas. Esto requiere

contar con varias medidas de platos y alguna experiencia cuando se cambia el tamaño de las semillas. Sin embargo, con un número limitado de surcos y con pequeñas cantidades de semilla, este no es un trabajo difícil, comparado con las máquinas para surcos múltiples, pero subraya la importancia de poder cambiar los platos sin vaciar toda la tolva de semillas. La Lámina 101 muestra un sistema cerrado de tolva que permite cambiar el plato sin que caigan las semillas.

Aparatos para dosificar el fertilizante

Los distintos tipos de aparatos para dosificar el fertilizante que se encuentran en las máquinas para labranza cero en pequeña escala incluyen un fondo rotativo, un tipo de tornillo sin fin, celdas con muescas y ruedas en estrella (Lámina 102). La velocidad de descarga de los tipos de fondo rotativo y de ruedas en estrella es controlada por medio de una salida ajustable mientras que los tipos de tornillos sin fin y de celdas con muescas se controlan cambiando su velocidad de rotación en

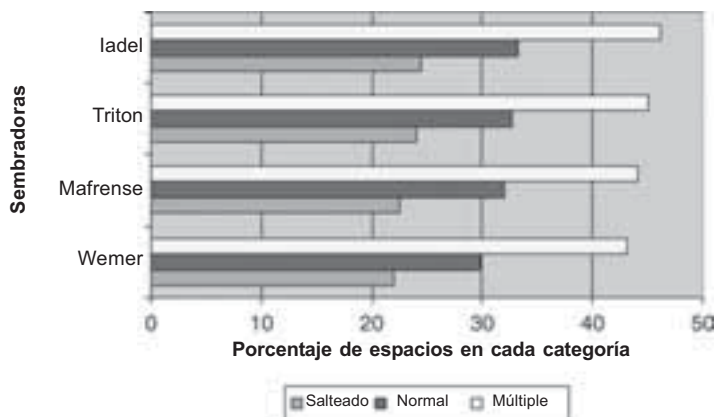


Figura 40 Porcentaje de espacios normales, salteados y semillas múltiples en cuatro modelos de sembradoras de precisión para tracción animal y labranza cero (NT) (Ribeiro *et al.*, 1998). Los criterios para la clasificación del espaciamiento se basan en Kurachi *et al.* (1993). Cada cultivo tiene un espaciamiento ideal (X_{ref}) que depende del número recomendado de plantas/m. Por ejemplo, para el maíz la recomendación es de 7 semillas/m, por lo tanto X_{ref} es $1,00/6 = 0,17$ m. Así se establecen las siguientes clases: a) normal ($X_{ref} < X_i < 1,5 X_{ref}$), b) dobles ($X_i > 1,5 X_{ref}$) y c) salteadas ($X_i < 0,5 X_{ref}$).



Lámina 101 Sistema cerrado de tolva para facilitar el cambio de plato.

relación con la velocidad sobre la tierra (Ribeiro *et al.*, 1998).

Ruedas compactadoras

Las ruedas compactadoras varían en su diseño y la mayoría están hechas de plástico o

de acero. Las ruedas en forma de V son usadas en el caso en que el suelo disturbado por los abresurcos de dientes deba ser recogido y colocado dentro de las ranuras abiertas. Una buena compactación y cobertura dependen de profundidad de la colocación de la semilla, del tipo de la rueda de compactación y de la humedad del suelo. Las ruedas con el centro hueco son mejores para los suelos con tendencia al encostramiento ya que comprimen el suelo en forma lateral contra las semillas.

Requisitos de potencia y facilidad de manejo

El manejo de las sembradoras de precisión pequeñas requiere una participación más activa del operador que en las máquinas grandes. Por lo tanto, es importante que tengan facilidad de operación. Por ejemplo, la mayoría de las sembradoras de precisión pequeñas requieren que el operador la tome de un par de manijas para conducirla y para controlar los animales de tiro. En las máquinas pequeñas montadas sobre un tractor, un segundo operador controla el tractor. En cualquier caso, los requerimientos de energía son importantes pero, dado que los abresurcos usados en las pequeñas sembradoras de precisión son similares a los que se usan en las máquinas más grandes, todas las fuerzas y principios de



Lámina 102 Dos ejemplos de aparatos dosificadores del fertilizante usados en las sembradoras de precisión para labranza cero. A la izquierda: celda con muescas, a la derecha, rueda en estrella.

la reacción del suelo se aplican igualmente a ambos tipos de máquinas.

En el caso de siete máquinas estudiadas por Ribeiro *et al.* (1998), cuatro de ellas tenían abresurcos de dientes y tres tenían abresurcos de doble disco. Ralisch *et al.* (1998) evaluaron las necesidades de tiro y energía de una pequeña sembradora de precisión con abresurcos de dientes para semillas y fertilizante, en un suelo sin labrar de relativamente baja densidad, $1,07 \text{ g/cm}^3$, que operaba a 100 mm de profundidad. Los autores registraron una fuerza de tiro de 834 N, que es menos de la mitad del valor registrado por Baker (1976a) para un abresurco simple de ala (ver Capítulo 13).

Las fuerzas de tiro varían considerablemente con la resistencia del suelo, que es influenciada por el contenido de humedad, el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica y el tiempo transcurrido bajo labranza cero. Por lo tanto, es difícil comparar los tipos de abresurcos (o, igualmente, las sembradoras) bajo diferentes condiciones. Sin embargo, a 2,4 km/h la máquina probada por Ralisch *et al.* (1998) requería una fuerza de tiro de 1,4 kW o aproximadamente 3,4 kW (5 HP) de fuerza del motor del tractor (con una eficiencia de tracción de 0,65). Esto se compara con las sembradoras más grandes que para operar a 16 km/h por lo general requieren de 4 a 9 kW (5-12 HP) de fuerza del motor por cada abresurco. Estas velocidades tan altas no se pueden obtener con las máquinas pequeñas, incluso cuando hay suficiente energía disponible, en razón de la dificultad para controlarlas, especialmente cuando el operador camina detrás de la máquina. Por lo tanto, los menores requerimientos de fuerza de las máquinas pequeñas probablemente reflejan la menor velocidad de operación más que otras variables.

De acuerdo con Siqueira y Casão (2004), las diferencias en requerimientos de fuerza son debidas en primer lugar al diseño de los abresurcos, al peso de la sembradora, al área de contacto de corte de los residuos y a los com-

ponentes de la abertura de los discos de corte. Las principales características que hacen que tales máquinas sean adecuadas para pequeños tractores o para tracción animal es su número limitado de surcos: dos y tres surcos para sembradoras de precisión de maíz y soja y seis a siete surcos para sembradoras de trigo y arroz.

Algunos de los factores que contribuyen al esfuerzo físico del operador para controlar la máquina son el peso de la sembradora de precisión, la altura de las manijas, su maniobrabilidad, estabilidad y habilidad para operar en tierras de ladera. La altura de las manijas es sumamente importante durante las maniobras y en muchos casos son ajustables. Los modelos para múltiples surcos generalmente requieren menos esfuerzo manual por parte del operador que los modelos de un solo surco porque, en el primer caso, la máquina tiene un asiento o una plataforma.

Los modelos con dos ruedas de apoyo traseras presentan buena estabilidad cuando se trabaja en tierras llanas pero pueden tener limitaciones en tierras de ladera. Los modelos con una sola rueda son más adaptados a terrenos pedregosos o con tocones ya que es más fácil bordear los obstáculos. Para aquellos modelos que han evolucionado a partir de los arados «*Fuçador*», la mejor estabilidad ocurre cuando se usan sistemas de barra fija en lugar de cadenas. El arado «*Fuçador*» tiene una barra de tiro de madera que está unida al yugo de los animales de tiro y en la cual está montada una pata y un cuerpo similar a una pala (Schimitz *et al.*, 1991). Para la labranza cero, el arado de reja es sustituido por los abresurcos adecuados. Este aparato es usado en las áreas pedregosas y de ladera del sur de Brasil.

Ajustes y mantenimiento

Todos los modelos tienen la posibilidad de ajustar la cantidad de semillas y fertilizantes pero algunos modelos no permiten ajustar su profundidad de colocación o el manejo de los residuos. Por otro lado, los abresurcos más

evolucionados no requieren ajustes para manejar una amplia variedad de tipos de residuos, pero en general raramente son usados en las pequeñas sembradoras o sembradoras de precisión. En general, los abresurcos de dientes tienen la menor capacidad de manejo de residuos (ver Capítulo 10) y los abresurcos de discos son los mejores. Sin embargo, algunos abresurcos de disco (por ej., de doble disco) tienen la tendencia a entretrejer la paja que se puede doblar dentro de la ranura donde esta interfiere con la germinación de las semillas, tanto en los suelos húmedos como en los suelos secos. Estas desventajas ocurren igualmente en las pequeñas sembradoras como en los equipos más grandes.

Por esta razón, varias sembradoras pequeñas de precisión con abresurcos de dientes presentan la posibilidad de hacer ajustes que afectan su capacidad de cortar los residuos. Los dos ajustes principales son el punto de enganche y la rueda frontal sobre la tierra. Los ajustes que se hacen al disco también controlan la profundidad de la ranura para el fertilizante. Para una misma profundidad del fertilizante, es posible tener diferentes profundidades de siembra de las semillas por medio de ajustes en la rueda posterior.

En los modelos más simples las densidades de siembra son ajustadas cambiando los diferentes platos de siembra mientras que los modelos de surcos múltiples a menudo vienen provistos de juegos de engranajes para cambiar la velocidad del plato. Otros modelos que no siembran surcos espaciados proveen un ajuste de la velocidad de la sembradora por medio de engranajes.

Sembradoras de precisión para tracción animal

La Lámina 103 muestra varias sembradoras para labranza cero producidas en Brasil. Los modelos en la parte superior de la Lámina son más desarrollados, tienen más posibilidades de

ajustes y es probable que produzcan mejores resultados que los modelos en la parte intermedia de la Lámina que han sido el resultado de la evolución del arado «*Fuçador*». Son más livianos, más económicos y más adaptables a las condiciones de suelos pedregosos y en laderas. El modelo en la parte inferior de la Lámina tiene abresurcos de disco y plataforma para el trabajo del operador.

Sembradoras de precisión adaptadas para cultivadores a motor

Los cultivadores a motor que se usan corrientemente para la labranza convencional algunas veces son usados para la labranza en fajas eliminando algunas de las hojas de corte, en bandas angostas (20 a 200 mm de ancho), dejando la tierra entre los surcos (hasta 500 mm de ancho) sin trabajar. En el Capítulo 4 se tratan los problemas de las versiones más grandes de esas máquinas que han sido adaptadas para seguir la superficie del suelo y la Lámina 15 muestra un ejemplo de la máquina trabajando en fajas angostas.

Sembradoras de precisión tiradas por tractor

Los pequeños agricultores también usan sembradoras de precisión a tracción animal o con pequeños tractores que requirerán hasta 50 HP. Las máquinas tienen los mismos abresurcos para corte de la paja (discos lisos) y formación de las ranuras (dientes o doble disco) como las máquinas para un solo surco y la mayoría pueden aplicar fertilizante en el momento de la siembra.

Algunos modelos tienen tolvas para semillas y/o fertilizante al igual que las máquinas más grandes (por ej., Láminas 104 y 105) mientras que otros modelos tienen sembradoras de precisión para surcos múltiples (Lámina 106).

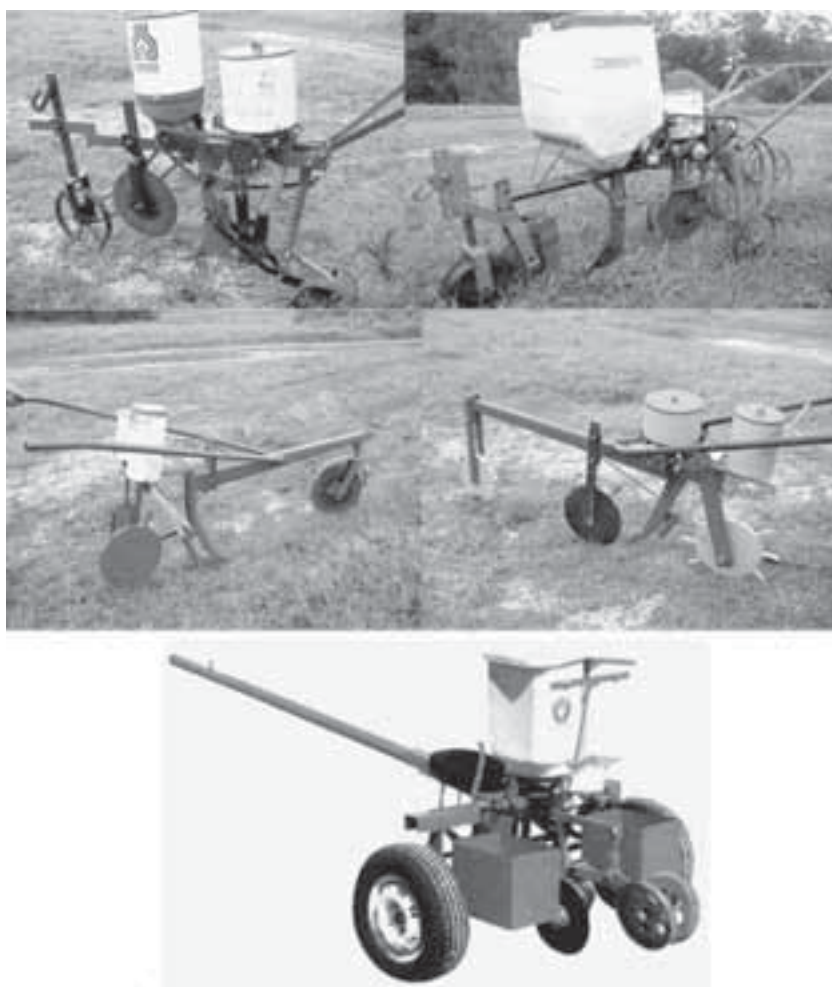


Lámina 103 Varias sembradoras de precisión para labranza cero en pequeña escala producidas en Brasil.

Agricultura con labranza cero en Asia

La labranza cero ha sido adoptada en cerca del 10-15 por ciento (dos millones de hectáreas sobre un total de 13,5 millones de hectáreas) del área sembrada con trigo después de arroz en el sistema de producción arroz-trigo en India y Pakistán. El trigo de primavera sembrado en la estación invernal y, cada vez más otros cultivos de invierno como las lentejas, se siembran bajo labranza cero. Sin embargo, las

ganancias en el mejoramiento de la calidad del suelo son contrarrestadas por el fangueo del cultivo del arroz en el verano. Además, la mayoría de la labranza cero ocurre en tierras donde se retiran los residuos del arroz para ser usados como forraje o combustibles ya que las actuales sembradoras de bajo costo para labranza cero no tienen capacidad para manejar los residuos; en muchos casos solo permanece en el suelo la parte inferior de las plantas de arroz. Esto lleva a un sistema híbrido



Lámina 104 Pequeña sembradora para labranza cero tirada por tractor.



Lámina 105 Dos pequeñas sembradoras de precisión con tolvas para la fertilización y la siembra de precisión.

donde los rendimientos no se podrán mantener debido a la degradación del suelo.

En experimentos a largo plazo llevados a cabo en México se ha demostrado que en sistemas intensivos maíz-trigo la labranza cero sin retención de residuos da lugar a una declinación más rápida de los rendimientos que cuando se utiliza un sistema de labranza que entierra los residuos. El mejor tratamien-

to ha sido la labranza cero con retención de residuos (Govaerts *et al.*, 2004). Esto indica la necesidad de una «retención racional de los residuos» en los trópicos húmedos y en los subtrópicos con fuertes lluvias monzónicas y, en algunos casos, con tres cultivos anuales (K. Sayre, 2004, comunicación personal).

En la actualidad se están llevando a cabo investigaciones en algunas partes del sur de



Lámina 106 Pequeña sembradora de precisión adaptada de tracción animal a montaje sobre tractor.

Asia sobre arroz con siembra directa o con labranza cero (sitio *web* de RWC). Existen escasas, o ninguna, investigaciones anteriores sobre cómo plantar arroz bajo labranza cero en condiciones monzónicas. Los mayores problemas que enfrentan los investigadores y los agricultores son: i) las decisiones sobre la fecha de siembra están influenciadas por el comienzo errático de las lluvias pre-monzónicas y las lluvias monzónicas regulares y no existe o no puede existir un programa de riego que asegure mantener la maquinaria fuera de los campos cuando están muy húmedos; ii) los enormes problemas de manejo de las malezas que acarrea la pérdida de las condiciones del fangueo en los suelos arenosos que permiten una rápida infiltración y, por lo tanto, reduce la capacidad de controlar las malezas a causa del agua estancada, y iii) la falta de drenaje, especialmente en las tierras bajas, que puede sumergir y matar las plántulas recién emergidas. Los experimentos en curso incluyen la labranza cero del arroz transplantado, nuevos tipos de herbi-

cidas disponibles, variedades de arroz que pueden soportar la inundación y variedades de buen comportamiento en condiciones alternantes de inundación y falta de agua.

El Cuadro 29 resume los problemas especiales que enfrenta la producción de arroz bajo labranza cero.

Los resultados de las investigaciones sobre retención de residuos están adelantando pero las tecnologías occidentales actuales tales como los abresurcos de doble disco, son probablemente muy costosas, pesadas y requieren excesiva potencia. Están progresando los sistemas nativos o desarrollados localmente tales como los abresurcos de doble disco con T invertida y el inyector de la sembradora de precisión con la rueda estrella. Sin embargo, las investigaciones sugieren que sistemas más económicos de labranza en fajas podrían proporcionar la respuesta al manejo de los residuos a bajo costo, especialmente para los agricultores con mayores recursos. En el caso de los agricultores de menores recursos, los

Cuadro 29 Problemas y posibles soluciones para el arroz bajo labranza cero.

Problemas	Posibles soluciones
<p>1. La mayoría del arroz es cultivado en condiciones de secano. Los principales problemas son las lluvias monzónicas erráticas y, por lo tanto, el problema de entrar a los campos para las operaciones de siembra.</p>	<p>1. Las siembras deben ser hechas tan pronto como sea posible, cuando el suelo llega a la humedad adecuada. Cuando el suelo está demasiado húmedo ocurrirá una seria compactación.</p> <p>2. La maquinaria pequeña, más liviana (tractores de dos y cuatro ruedas) puede ayudar a solucionar el problema.</p> <p>3. Si la siembra directa es imposible, los agricultores pueden transplantar a mano o a máquina en los campos bajo labranza cero.</p> <p>4. Trasladar a la época seca temprana el arroz bajo riego.</p>
<p>2. La falta de drenaje y la inundación matan las plántulas emergentes después de una fuerte lluvia monzónica.</p>	<p>1. Camas permanentes de semilla y mejoramiento de la capacidad de drenaje.</p> <p>2. Siembra de variedades de arroz tolerantes a la inundación.</p> <p>3. Arroz transplantado bajo labranza cero.</p>
<p>3. Hay problemas de control de malezas cuando los suelos no se mantienen inundados (más importante en estaciones experimentales que en los campos de los agricultores).</p>	<p>1. La solución puede ser el manejo integrado de las malezas, uso de variedades competitivas y cobertura del suelo, prevenir la formación de semillas de las malezas, uso de rotaciones y varias estrategias de herbicidas. Otra estrategia son las camas de semillas sin labrar que permiten una primera germinación de las malezas que se controlan con herbicidas. En este sistema, al evitar la labranza también se evita un nuevo flujo de germinación de las malezas.</p> <p>2. Siembra de un cultivo de cobertura después del trigo y aplicar herbicidas al cultivo de cobertura y a las malezas antes de la labranza cero del arroz.</p>

residuos tienen un alto valor como combustible o forraje y probablemente continúen siéndolo durante las próximas décadas.

¿Tractores de dos o de cuatro ruedas?

Un problema importante es identificar formas de aplicación de las tecnologías de la agricultura de conservación a las zonas más pobres del sur de Asia. Si bien hay mayor disponibilidad de sembradoras para labranza cero, existe una cierta escasez de tracto-

res de cuatro ruedas. Como resultado de la falta de recursos muchas fincas son pequeñas o están dispersas. Las lluvias monzónicas intensas son un desafío para los investigadores, para quienes apoyan la agricultura de conservación y para los diseñadores de maquinaria. Es probable que la mayoría de los pequeños agricultores y de aquellos sin recursos no sean propietarios de su equipo sino que lo alquilen, cualquiera que sea el sistema prevalente.

En los últimos años se han hecho esfuerzos para introducir tractores de dos ruedas en las prácticas de la agricultura de conservación. Si bien su adopción es aún limitada, los ingenieros y los investigadores piensan que se están encontrando aperos que pueden ser útiles en este complejo sistema socioecológico.

Tractores de cuatro ruedas

India es el mayor productor del mundo de tractores de cuatro ruedas pero, aún hoy día, solamente el 50 por ciento de la labranza es mecanizada; tal vez cerca del 90 por ciento en las áreas de arroz-trigo, menos del 20 por ciento en Nepal y más del 70 por ciento en Bangladesh. La sorprendente diferencia entre Bangladesh y el resto del sur de Asia se analiza más adelante. Más aún, las leyes del gobierno de la India no permiten que los fabricantes de tractores fabriquen implementos como las sembradoras a fin de promover la fabricación artesanal local.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS Y HERRAMIENTAS. Muchas de las barras portaherramientas en India y Pakistán están basadas en las sembradoras para los cultivos de la época temprana del «rabi» (trigo de invierno, lentejas) que fueron desarrolladas en las décadas de 1970 y 1980. Los fabricantes de maquinaria para agricultura de conservación, en su mayor parte, han fortalecido simplemente los bastidores, las barras y los cinceles (Hobbs y Gupta, 2004). Las barras portaherramientas son planas (no son de sección romboidal) y generalmente están hechas de dos piezas de 50 mm de acero en ángulo soldadas para formar una barra de sección cuadrada. Dos o tres barras se colocan a distancias fijas y hay varios sistemas para adosar los cinceles a las barras. Los agricultores están aprendiendo que un cincel de largo ajustable proporciona una mayor adaptabilidad, pero tiene la tendencia a moverse hacia un lado u otro si no está debidamente asegurado o si es de baja calidad.

SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO. El interés que existe sobre la investigación y desarrollo de la agricultura de conservación en el sur de Asia ha llamado la atención del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México) el cual introdujo desde Nueva Zelanda a Pakistán, a principios de la década de 1980, sembradoras con abresurcos simples de T invertida para la siembra del trigo (Baker, 1976a, b, Lámina 107). Después de un cierto tiempo varios programas nacionales e internacionales en India y Pakistán redujeron el tamaño y el costo de las máquinas iniciales y las adaptaron a las condiciones locales. Específicamente, las populares sembradoras para trigo de invierno o «rabi» hechas localmente fueron reforzadas y se les agregaron abresurcos en T invertida hechos localmente (Hobbs y Gupta, 2004).

Las plataformas para las barras portaherramientas y las herramientas para la labranza cero son cada vez más simples y livianas (Lámina 108). Casi todos los talleres de herrería son capaces de producirlas. El principal defecto en los tractores de fabricación local es el control del sistema de tiro y el segundo es el levante hidráulico. Por lo tanto, muchos agricultores que adquieren máquinas para labranza cero encuentran que el enganche hidráulico de tres puntos frecuentemente necesita reparaciones; también muchas sembradoras para labranza cero encuentran problemas con las ruedas de control de profundidad. En Pakistán, a menudo se usan ruedas neumáticas, pero los modelos más económicos en India y Pakistán usan ruedas de metal.

SEMBRADORAS PARA LABRANZA EN FAJAS. Las sembradoras para siembra en fajas están menos difundidas que las sembradoras para labranza cero para tractores de cuatro ruedas o que las sembradoras comunes (Lámina 109). Estas sembradoras fueron desarrolladas por investigadores e ingenieros hindúes en la *Punjab Agricultural University*, Ludhiana, India, a fines de la década de 1980. Las máquinas típicas com-



Lámina 107 Abresurcos en T invertida montados en cindeles rígidos fijados a una barra portaherramientas de sección cuadrada. (Los detalles de los abresurcos típicos en T invertida se aprecian en la Figura 8 y en las Láminas 21 y 22).

prenden un rotavador simple de 2,2 m movido por la toma de fuerza del tractor con cuatro o seis láminas por faja, producidas en modelos de nueve a once surcos. Tales máquinas cuestan un 50 por ciento más que las sembradoras para labranza cero. El consumo de combustible es mayor que en las máquinas para labranza cero pero mucho menor que en las máquinas para labranza convencional. Los agricultores indican que la labranza en fajas es preferible en campos con residuos excesivamente altos para los cindeles de las máquinas en T invertida para labranza cero. Los rendimientos son comparables a aquellos de la labranza cero (Hobbs y Gupta, 2003). Los resultados de investigaciones hechas en Pakistán sobre discos rotativos, lisos o serrados, indicaron que el desgaste de los discos fue alto.

SEMBRADORAS DE PRECISIÓN (A GOLPE) CON RUEDA ESTRELLA. En un intento de solucionar el pro-

blema de la siembra sobre residuos densos, la rueda estrella o los sembradores de precisión a golpes rotativos—desarrollados originariamente en Zimbabwe— han sido agregados a los bastidores existentes para labranza cero (Lámina 110). Se han hecho modificaciones para mejorar la sincronización de la entrega de las semillas y para prevenir que las semillas caigan fuera del hoyo (sitio *web* del RWC). Tal vez el mayor problema que enfrenta este sistema en el sur de Asia es su costo relativamente alto.

SEMBRADORAS PARA MELGAS (SIEMBRA EN CABALLONES Y SURCOS). Los sistemas para siembra de trigo en melgas fueron desarrollados primeramente en México, con agricultores del valle Yaqui, para compensar un decreciente aporte de agua. El agua de riego se ahorra al aplicarla por medio de surcos entre las melgas, lo cual favorece su conservación y el drenaje. El trigo sembrado en melgas también



Lámina 108 Sembradora típica para labranza cero sobre un tractor hindú.



Lámina 109 Sembradora para labranza en fajas en India.



Lámina 110 Sembradora a golpe rotatoria para múltiples surcos.

permite el acceso al campo después de la siembra para hacer aplicaciones de pesticidas y el control mecánico de las malezas. Más del 90 por ciento de los agricultores del valle Yaqui han adoptado esa práctica (Aquino, 1998) pero deshacen las melgas después de la cosecha y las rehacen para la siguiente siembra.

El trabajo para sembrar en melgas en el sur de Asia comenzó a mediados de la década de 1990 y actualmente está aumentando su adopción (Hobbs y Gupta, 2004). El objetivo es, eventualmente, tener melgas permanentes, especialmente en los suelos arenosos secos, donde el abastecimiento de agua subterránea se está reduciendo o en los suelos arcillosos donde el trigo es susceptible al estancamiento del agua. Existen algunas variaciones para adaptarlo a problemas que generan las condiciones erráticas de los monzones y a las siembras directas de bajo rendimiento del arroz; por ejemplo, transplantar el arroz a mano en melgas usando abre-surcos en T invertida para abrir los surcos para el transplante. Podría haber buenas perspectivas para la siembra en melgas de rotaciones de arroz-hortalizas en la India o de rotaciones algodón-trigo en Pakistán.

Sin embargo, son necesarias más investigaciones para cultivar exitosamente arroz sem-

brado en melgas en seco, que incluyan la fecha de siembra, el manejo de las malezas, los tipos de suelo y las condiciones socioeconómicas en las que el cultivo en melgas pueda ser viable. Todavía existen una serie de problemas que necesitan una respuesta adecuada acerca del cambio de las condiciones fluctuantes de un sistema anaeróbico a un sistema aeróbico para el cultivo del arroz. También hay preguntas sobre la maquinaria apropiada que debe ser usada, dado que la complejidad de los sistemas generados por los monzones de Asia requieren más adaptaciones de los modelos creados en el ecosistema del Valle Yaqui en México (Hobbs y Gupta, 2004).

La mayoría de los modelos comerciales actuales de sembradoras de precisión para la siembra en melgas se derivan de las sembradoras para labranza cero que usan el mismo bastidor y dosificadores de semilla de tubo pero con el agregado de un surcador ancho de ajuste simple. Se han hecho numerosos trabajos sobre la agronomía del trigo y del arroz y dos surcos sembrados en melgas de 72,5 cm son la opción estándar en las rotaciones arroz-trigo; sin embargo, la mayoría de las sembradoras de precisión pueden ser ajustadas a sembrar tres surcos y varios espaciamientos en la melga. Algunos modelos son combinaciones de sembradoras de precisión para labranza cero en melgas con abresurcos adicionales en T invertida, surcadores y azadas. Sin embargo, estos modelos parecen ser inadecuados para melgas permanentes y mayores niveles de residuos, por lo que se ha comenzado a trabajar para agregar abresurcos de discos dobles y ruedas estrella en sembradoras de precisión.

«SEMBRADORA FELIZ»*. Esta sembradora (Lámina 111) fue diseñada para manejar grandes volúmenes de residuos y sembrar en melgas o

* N. del T.: «Happy seeder» en el original inglés.



Lámina 111 Ejemplo de «Happy seeder».

en tierras llanas. La sembradora es una combinación de dos máquinas: una cosechadora de forraje y una sembradora para labranza cero que usa abresurcos de ala en T invertida (sitio *web* de RWC). La cosechadora de forraje corta y levanta la paja y deja una superficie limpia para la sembradora para labranza cero. El material cortado es soplado directamente detrás de la sembradora y permanece como cobertura. Ensayos de campo en la India han confirmado la utilidad de este enfoque. Sin embargo, persisten problemas con la germinación y con una colocación saltada de las semillas que necesita además el ajuste del alto de corte así como de la labranza de las fajas delante de cada abresurcos en T invertida. Las adaptaciones hechas en Pakistán han llevado a la opción de una separación de la máquina en dos mitades.

Tractores de dos ruedas

La pobreza relativa da lugar a propiedades cada vez menores y más fragmentadas. Un pequeño agricultor para ser exitoso debería poseer cinco hectáreas, mientras que un agricultor de pocos recursos financieros podría poseer parcelas de menos de una hectárea, con un promedio de cinco parcelas fragmentadas.

El número de tractores de cuatro ruedas disminuye prácticamente hasta cero para los agricultores de menores recursos; al igual ocurre con otra maquinaria moderna. El área oriental de India y Bangladesh (Figura 41) comprende, probablemente, las tierras más fértiles de todo el sur de Asia; pero aun así, la pobreza y la alta densidad de población presentan a los investigadores de la agricultura de conservación una situación socioeconómica difícil y restrictiva.

Si la agricultura de conservación fuera introducida y adoptada por los agricultores de esta región, los equipos deberían ser adaptados a la fuerza de tracción animal o de tractores de dos ruedas. Estas fuentes de tracción también deben estar disponibles ya que actualmente hay vastas áreas en las cuales no se encuentran los equipos más simples. Los tractores de dos ruedas se han considerado apropiados y socialmente justos (Justice y Biggs, 2004a) dado que el costo de mantener un par de bueyes para la preparación de la tierra y el transporte es cada vez más oneroso. Muchos agricultores buscan alternativas para las opciones de tracción animal pero los investigadores aquí, y tal vez en otras zonas en desarrollo, enfrentan múltiples dificultades, a saber:

1. La naturaleza conservadora inherente de los agricultores, pero particularmente de aquellos de menores recursos, que no les permite enfrentar riesgos en su producción agrícola.
2. Una estructura por debajo de las normas, que incluye a los fabricantes locales y los sistemas de extensión, junto con un bajo nivel educativo, demoran el interés en cualquier tecnología o su adopción.
3. Todos los agricultores hacen inversiones en maquinaria de bajo costo y renuncian a la calidad por el alto precio.
4. Las limitadas investigaciones y desarrollo de los equipos para agricultura de conservación para tractores de dos ruedas, en comparación con los modelos de cuatro ruedas.



Figura 41 «Área de la pobreza» en el sur de Asia donde 500 millones de familias dependientes de la agricultura viven con menos de una hectárea de tierra.

5. El énfasis en los tractores de cuatro ruedas y la producción local han limitado la disponibilidad y competitividad de los modelos de dos ruedas.

LA FUNCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRANSICIÓN. A pesar de esas dificultades, las ventas de tractores de dos ruedas y el rotavador común se han incrementado en la última década, especialmente en Bangladesh donde se estima que hay más de 400.000 tractores de dos ruedas hechos en China, responsables de la preparación de más del 70 por ciento de la tierra de los agricultores bengalíes. Este importante incremento fue estimulado por cambios en la políti-

ca gubernamental y por el desarrollo de un fuerte mercado para tractores después del desastre causado por los ciclones en 1987 que redujeron considerablemente la población animal. Un cuadro similar está surgiendo en Nepal y en cierta medida en India. Ciertos proyectos específicos en Nepal han hecho que los agricultores sean más concientes de los beneficios de poseer esas fuentes de energía para generar ingresos u ofrecer servicios por contrato a quienes no poseen tractores (Justice y Biggs, 2004b). La disponibilidad de tales fuentes de energía permite ahora que los métodos aplicados por la agricultura de conservación estén disponibles para los agricultores de esas regiones.

Además de proporcionar energía para la agricultura de conservación esos tractores pueden cumplir una serie de actividades de campo tales como segar, bombear agua, sembrar y labrar. El tractor, o su motor, también es usado como una fuente de energía para las trilladoras, ventiladores de granos, molienda y transporte de personas y mercancías, tanto sobre la tierra (pueden tirar remolques de 2 t) y en el agua (miles de barcas en Bangladesh). También reducen el trabajo penoso del fangueo de los arrozales siempre que tengan ruedas especiales para ello. Todas estas funciones aceleran las operaciones de la finca (preparación de la tierra, siembra y cosecha oportunas), mejoran los rendimientos e intensifican la intensidad de cultivo y la eficiencia de la producción agrícola. Estos resultados son vitales para una región en la cual la densidad de población excede las 1 000 personas por kilómetro cuadrado de tierra arable.

Los costos de preparación de la tierra para los cultivos de invierno y para el fangueo del arroz con los tractores de dos ruedas son un tercio menos por unidad de tierra que los costos con los tractores de cuatro ruedas (Sah *et al.*, 2004). Con los tractores de dos ruedas también se reduce el tiempo requerido para dar vuelta y retroceder que requieren los tractores de cuatro ruedas, especialmente en las fincas pequeñas. El desafío ha sido extender esas ventajas a la agricultura de conservación. En primer lugar el concepto de barra portaherramientas ha sido usado en la labranza cero y las sembradoras de precisión para la siembra en melgas. En segundo lugar, una sembradora reducida para siembra más superficial ha sido modificada para la siembra en fajas y formar melgas en una sola operación.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS. Como ocurre con los tractores de cuatro ruedas, los diseños de barras portaherramientas para los tractores de dos ruedas se basan en modificaciones de los tipos familiares de sembradoras de barras planas «rabi». La placa de montaje de la barra

portaherramientas es abulonada detrás de la transmisión de los tractores de dos ruedas. Ese sistema rígido de montaje crea problemas en los terrenos no uniformes en comparación con el sistema de enganche de tres puntos que es más flexible. De cualquier manera, ha demostrado ser una plataforma sólida para los implementos de la agricultura de conservación. Por lo general, se usan dos barras para colocar herramientas e implementos.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS PARA SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO. La mayoría de los tractores de dos ruedas son capaces de arrastrar sembradoras de hasta cuatro surcos para labranza cero. Los diseñadores simplemente han adaptado los diseños de las sembradoras para labranza cero de los tractores de cuatro ruedas a un número más reducido de surcos, usan abre-surcos grandes en T invertida y los mismos cinceles, pero reducen a la mitad las tolvas para fertilizantes y semillas (Lámina 112). La capacidad real de dichas máquinas en el campo es 0,20 ha/h para la aplicación de fertilizantes y siembra simultánea de las semillas. El costo de siembra en el caso del trigo y el maíz se reduce en cerca del 50 por ciento, en comparación con los métodos convencionales de labranza.



Lámina 112 Barra portaherramientas de tipo plano para labranza cero que muestra la placa de montaje para un tractor de dos ruedas.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS PARA SEMBRADORAS DE PRECISIÓN EN MELGAS. Este tipo de sembradoras que simultáneamente labra el suelo y forma las melgas son relativamente poco consideradas, sin tener en cuenta si también siembran y fertilizan; tal práctica podría llevar a un programa completo de labranza cero en un sistema de melgas permanentes.

El ancho de las melgas está limitado por el problema del espaciamiento de las ruedas de los tractores de dos ruedas. La melga estándar para arroz-trigo es de 65-70 cm de ancho. Los problemas surgen la primera vez que se forman las melgas y si la tierra no ha sido preparada previamente: la pala se engancha en los terrones, lleva la máquina fuera de dirección y puede causar problemas de manejo si una de las ruedas pasa sobre un caballón e inclina el formador de la melga. Los terrones son un problema menor bajo las condiciones de las melgas permanentes, donde se hace un ligero trabajo de retoque y las ruedas del tractor corren en las huellas anteriores lo que reduce el trabajo del operador.

SEMBRADORA PARA LABRANZA REDUCIDA. Una sembradora para labranza reducida hecha en China fue introducida por el CIMMYT en 1989 en Nepal y en 1996 en Bangladesh. Ha sido la única tecnología de conservación disponible en China para tractores de dos ruedas y ha sido sometida a investigaciones por Pradhan *et al.* (1997), Meisner *et al.* (2003) y Sah *et al.* (2004); esas máquinas mostraron en forma consistente altos rendimientos, por las siguientes razones:

1. Fueron capaces de sembrar trigo, lentejas y otros cultivos de invierno en suelos muy húmedos (hasta un 30 por ciento de humedad) inmediatamente después de la cosecha del arroz, lo que evita así las siembras tardías.
2. Proporcionaron una preparación fina del suelo que favorece la germinación.
3. Colocaron las semillas a una profundidad uniforme.

4. Redujeron los problemas de malezas asociados con el cultivo anterior de arroz.

Si bien la máquina no puede ser considerada una verdadera sembradora para labranza cero en su modelo para labranza (Lámina 113), representa una excelente (y flexible) tecnología de transición de la labranza múltiple a la labranza cero o la labranza en fajas (Lámina 114). Los tres principales componentes de la sembradora son:

1. Un rotavador de 48 hojas, 120 cm de ancho, alta velocidad y labranza superficial (máximo 10 cm de profundidad).
2. Un dosificador de semillas de seis tubos para seis surcos (también hay para 11 y 17 tubos) y una tolva para semillas.
3. Un rodillo de 120 cm para alisar, compactar y controlar la profundidad.

LABRANZA EN FAJAS. Las investigaciones sobre la labranza en fajas son más recientes (Justice *et al.*, 2004) pero los resultados con las máquinas hechas en China han sido promisorios. La eficiencia en el campo mejora entre un 15 y un 20 por ciento con menor consumo de combustible y tiempo. El área de suelo disturbada puede ser ajustada entre 15 cm y apenas 2-3 cm (con hojas derechas). Para las fajas angostas se sueldan al eje apoyos adicionales para las hojas a fin de compensar la falta del modelo normal en espiral y reducir las vibraciones. Trabajos hechos en Bangladesh, México y Nepal han mostrado que las hojas del sistema de rotavador de alta velocidad (rotación a una velocidad mayor de 400 rpm) son capaces de cortar y sembrar en paja rala y presentan una solución económica para los problemas de la retención de residuos para los tractores de dos y cuatro ruedas. La Lámina 114 muestra una máquina automotriz de dos ruedas para labranza en fajas que crea un disturbio del 50 por ciento y siembra trigo en surcos a 100 mm.

MELGAS PERMANENTES PARA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. La flexibilidad de las sembra-



Lámina 113 Máquina de dos ruedas para labranza reducida en trabajo de ancho total.



Lámina 114 Máquina de dos ruedas para labranza reducida en trabajo de labranza en fajas.

doras diseñadas en China ha sido mejorada para hacer melgas y sembrar en melgas permanentes con muy pocas modificaciones. Cuando es necesario reconstruir las melgas, puede usarse el sistema de la barra portaherramientas con palas o solamente unas pocas hojas rotatorias en el surco para devolver el suelo a la melga sin disturbio.

LABRANZA EN FAJAS EN MELGAS PERMANENTES. Si las melgas no requieren ser reconstruidas, la misma máquina hace la labranza en fajas sobre las melgas existentes. En Bangladesh y México, el CIMMYT ha introducido modificaciones en las máquinas convencionales para siembra en fajas como sigue:

1. Dos ruedas para el control de profundidad están colocadas sobre los surcos en lugar del rodillo.
2. Los abresurcos se extienden en profundidad a 7 cm.
3. Las hojas estándar de tipo «C» están enderezadas para cortar los residuos y reducir la cantidad de movimiento del suelo.
4. Se agregan hojas adicionales para reducir la vibración (marcadas con un círculo en la Lámina 115).

La Lámina 115 muestra una máquina para labranza en fajas/sembradora modificada, usada en este caso para la siembra de frijol mungo

después de trigo en melgas permanentes. Las hojas enderezadas de tipo «C» pueden cortar los residuos dejándolos en la superficie de la melga con un disturbio o arrastrado mínimo del suelo, similar al que se encuentra con abre-surcos invertidos en forma de T.

Ha habido un extenso debate acerca de la altura más deseable de las melgas de este tipo. La mayoría de las sembradoras de precisión pueden hacer melgas de solo 10 a 12 cm de alto. Los primeros intentos hechos para crear melgas más altas indican ahora que consumen un exceso de energía y que son agrónomicamente indeseables, ya que se secan más rápidamente. Generalmente se acepta que las melgas deben ser tan altas como sea necesario para permitir que el agua de riego o de drenaje se mueva de un extremo del campo al otro. Dado que muchas parcelas son pequeñas (menos de 0,2 ha), las melgas bajas son satisfactorias.

Los sistemas de labranza en fajas basados en tractores de dos ruedas también incluyen máquinas comparativamente livianas que permiten la siembra en suelos más húmedos, en comparación con el trabajo de los tractores de cuatro ruedas y las correspondientes sembradoras de precisión para melgas. Esto es particularmente importante en los sistemas de agricultura de conservación en el sur de Asia con casos de melgas bajas y llanas.

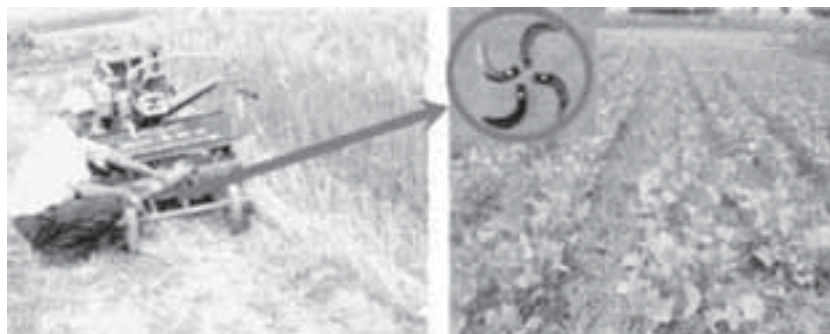


Lámina 115 Sembradora para labranza en fajas que opera sobre residuos densos en una melga permanente y siembra frijol mungo.

Como consideraciones negativas, la labranza en fajas con equipos de dos ruedas sobre melgas permanentes no permite el acceso al campo hasta que los cultivos se han establecido. Sería deseable facilitar la aplicación en bandas del fertilizante en cobertura, el cultivo entre surcos y asperjar como con los tractores de cuatro ruedas.

Los resultados de pruebas recientes hechas en Bangladesh con el establecimiento de cultivos de trigo (Rawson, 2004) encontraron que la labranza total y la labranza en fajas fueron inicialmente superiores a la siembra en melgas y a la labranza cero, pero también se notó que los resultados mejoraron una vez que los operadores aprendieron a sembrar con la humedad correcta del suelo, especialmente en el caso de la labranza cero. Como resultado, ahora se considera que la siembra en melgas y la labranza cero con tractores de dos ruedas pueden ser el futuro de la agricultura de conservación en la región.

Resumen de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas en pequeña escala

1. La mayoría de los agricultores en pequeña escala usan equipos manuales de siembra o sembradoras y sembradoras de precisión de uno o dos surcos, tiradas por animales o por pequeños tractores.
2. La agricultura de labranza cero en pequeña escala se beneficia de una mayor atención del operador a los detalles de la siembra y del control de las malezas.
3. Muchos modelos de sembradoras de precisión manuales o de tracción animal han evolucionado a partir de antiguos modelos.
4. Los modelos de abresurcos en pequeña escala tienen muchos de los mismos requisitos y diseños usados en los equipos para gran escala presentados en los capítulos anteriores.
5. Algunos modelos de abresurcos en pequeña escala están limitados por los requisitos de potencia, fuerza de penetración y simetría.
6. La colocación separada del fertilizante y las semillas es importante para favorecer un crecimiento precoz del cultivo y limitar el crecimiento de las malezas.
7. Los aparatos para dosificar las semillas y el fertilizante, muy comúnmente son adaptaciones de sistemas usados en las máquinas más grandes.
8. Los abresurcos de azada son más comunes en la agricultura en pequeña escala debido al aumento de la capacidad de penetración, comparados con los abresurcos de discos.
9. El manejo de los residuos es a menudo más fácil con las máquinas para pequeña escala dado que tienen menos abresurcos.
10. La labranza cero en Asia presenta problemas asociados con las rotaciones arroz-trigo y las lluvias monzónicas.
11. La extrema pobreza es un problema en muchas áreas de Asia ya que limita el desarrollo del equipo para labranza cero y los servicios de asistencia a los agricultores.
12. El uso generalizado de los abresurcos de ala en T invertida ha ofrecido oportunidades para la labranza cero en Asia.
13. La siembra en melgas y/o la labranza en fajas es considerada como un paso hacia la labranza cero total en Asia.
14. La sembradora «Happy seeder» que combina cosechadoras de forraje y sembradoras, permite que los residuos sean colocados sobre las semillas durante la labranza cero, que simula a algunas de las ventajas de las máquinas para labranza cero en gran escala.

15

Manejo de un sistema de siembra para labranza cero

W. (Bill) R. Ritchie y C. John Baker

El éxito final de un sistema de siembra de labranza cero no será mayor que el éxito del componente menos exitoso del sistema.

La mayor parte de este libro se refiere a los riesgos físicos, biológicos, químicos y económicos relacionados con los equipos. Sin embargo, ni siquiera el mejor equipo disponible será capaz de proporcionar óptimos resultados si otros insumos no son de un estándar de igual o similar calidad. Consecuentemente, se deben considerar seriamente los otros factores necesarios para poner en funciones un sistema de siembra bajo labranza cero que minimice todos los riesgos. Obviamente, no es posible ofrecer una «receta» contra los fracasos en la siembra en labranza cero bajo cualquier condición. Cada paquete exitoso debe ser preparado para satisfacer las necesidades y condiciones de una finca particular, de un campo y de un componente del campo.

Este capítulo señala brevemente los distintos factores que pueden tener influencia sobre el resultado de la siembra de cultivos o pasturas en labranza cero cuando se aplica un sistema de ese tipo. Un resumen más detallado sobre la forma en que tales factores interactúan y cómo determinan el éxito o el fracaso de un sistema de labranza cero se encuentran en *Successful No-Tillage in Crop and Pasture Establishment* (Ritchie *et al.*, 2000).

Selección y preparación del lugar

A menudo hay pocas oportunidades para elegir una parcela e incluirla en un programa de labranza cero. Sin embargo, en otros casos, los agricultores pueden estar en una posición de ser más selectivos acerca de los campos, especialmente si están al inicio del proceso de conversión de la agricultura de labranza a la labranza cero. En este caso, es importante revisar los criterios que deberían ser considerados.

Muchos de los agricultores que se convierten a la labranza cero lo hacen en áreas con una historia intensiva de labranza que ha conducido a una estructura pobre del suelo, a un bajo contenido de materia orgánica, a una actividad microbiana pobre, a un bajo número de lombrices de tierra y a una probablemente alta compactación del suelo. Tales condiciones no conducen a altos rendimientos de los cultivos en cualquier sistema en el que sean establecidos. Si bien es de esperar que la labranza cero con el correr del tiempo pueda reparar el daño, a corto plazo puede estar en desventaja. La labranza cero no puede ser una cura inmediata para esas condiciones, pero lo es, ciertamente, a largo plazo.

Si se maneja correctamente, la labranza cero puede conformar un método sostenible de producción agrícola y al mismo tiempo permitir

que continúe el proceso natural de formación del suelo. Estos procesos toman tiempo, años y tal vez décadas. Incluso, hasta el momento en que se obtiene un cierto grado de reparación, los rendimientos pueden ser reducidos, especialmente si el agricultor no aplica los insumos mejor conocidos del sistema. Pero en otros casos, cuando los agricultores han usado altos niveles de insumos, que incluyen la fertilización en bandas, hay numerosos ejemplos de que los rendimientos de los cultivos no sufren, incluso en el primer año. Y sobre todo, después se han incrementado en forma sostenida, a menudo a niveles nunca registrados en ese campo.

Los mejores resultados para la conversión a la labranza cero ocurren cuando el agricultor tiene desde el principio la opción de seleccionar campos con alto potencial de retorno. En una finca integrada con pasturas y cultivos puede ser más adecuado comenzar una rotación de cultivos en labranza cero en un campo que ha tenido pasturas o alfalfa durante algún tiempo y que tiene un suelo en mejores condiciones que los campos que han sido labrados durante varios años.

En las fincas que en el pasado han sido completamente labradas, deberían seleccionarse los campos que han sido menos afectados por los aspectos destructivos de la labranza. No es realista esperar una evaluación objetiva del potencial de un sistema como la labranza cero, excepto cuando se le ha ofrecido la oportunidad de mostrar su verdadero potencial.

Un drenaje efectivo del suelo tendrá cierta importancia sobre la condición del suelo. Mientras que la labranza cero, con el correr del tiempo, mejora la capacidad natural de drenaje, también puede ser necesario algún drenaje artificial. Los suelos bien drenados producirán los mejores resultados.

La importancia de que los abresurcos para labranza cero sean capaces de seguir de forma segura las ondulaciones del terreno ya ha sido señalada en el Capítulo 8. Sin embargo, cualesquiera que sean los méritos de la tecno-

logía en este aspecto, será más efectiva y permitirá una mayor velocidad de operación si el campo tiene una superficie uniforme. Cuando se labra un campo antes de convertirlo a labranza cero, es necesario un esfuerzo adicional para uniformizar la superficie, que es una buena inversión para la posterior agricultura de labranza cero.

Se debe señalar que, sin embargo, con el correr del tiempo, los restos dejados por las lombrices de tierra son capaces de llenar galerías a profundidades de 75 a 150 mm. Por supuesto, un incremento en el número de lombrices de tierra es más bien un resultado a medio término de la labranza cero y no a corto plazo.

La siembra con sembradoras o sembradoras de precisión también puede ser favorecida si los predios tienen formas regulares. La naturaleza más firme de los suelos sin labrar limita la capacidad de muchas máquinas para labranza cero para moverse en las esquinas. La planificación primaria previa a la subdivisión de las tierras puede contribuir a resolver este problema.

Competencia de las malezas

Ha habido considerables debates sobre la competencia de las malezas en relación con los abresurcos. Es importante recordar que la mayoría de las operaciones de la labranza convencional están dirigidas a controlar la competencia de las malezas con los cultivos. Por lo tanto, la importancia de las operaciones de aspersión en la labranza cero debe ser debidamente considerada. El buen manejo incluye la identificación de las distintas especies, seguida por una selección adecuada de los herbicidas más adecuados o de otras estrategias de control, tales como la cobertura. Una planificación adecuada es importante para asegurarse de que los efectos residuales de los herbicidas sean compatibles con los futuros cultivos, así como con la fauna del suelo como las lombrices de tierra; por ejemplo, algunos

herbicidas y pesticidas son tóxicos para las lombrices.

Una vez seleccionados los herbicidas, es necesario asegurar que el compuesto químico específico es aplicado a la dosis correcta de ingrediente activo con la dilución adecuada (por lo general en agua) y otro compuesto como surfactante. También son necesarias para la aspersión condiciones adecuadas del tiempo, durante la aplicación y por un cierto período posterior. El estado de vigor y crecimiento de la planta y el tamaño de las hojas pueden tener influencia sobre la actividad del herbicida. Con algunos herbicidas es necesario contar con un cierto período entre aspersión y siembra. En muchos casos es más importante asegurar que la aplicación del herbicida es optimizada con respecto a una cierta formulación y el estado de crecimiento de la maleza, salvo cuando hay actividad residual del herbicida en el suelo o peligro del efecto del «puente verde» (Capítulo 3).

Un principio que ha ocurrido repetidamente ha sido el cambio del grado de dificultad de controlar algunas especies de malezas después de varios años de labranza cero. Cada especie de maleza tiene un modelo óptimo de labranza, competencia con el cultivo y humedad para su establecimiento. Casi todos los estudios de labranza cero sobre las malezas a largo plazo han señalado este claro cambio de especies y de intensidad. Pero los mismos y otros estudios a largo plazo muestran una significativa reducción total de la incidencia de las malezas en los sistemas continuados de labranza cero que han usado estrategias adecuadas de control y rotación de cultivos.

Control de plagas y enfermedades

La mayoría de los principios de manejo que se aplican a las malezas también se aplican al control de las plagas y enfermedades. Una identificación cabal es necesaria para asegu-

rar un control adecuado y rentable. Más importante aún, es necesario reconocer que algunas plagas y enfermedades se comportan en forma diferente bajo las condiciones de labranza cero que en la labranza común. A menudo puede resultar engañoso asumir que las medidas apropiadas de control en los suelos labrados pueden ser aplicadas sin modificaciones en la labranza cero. Estos principios se aplican tanto al manejo antes y después de la siembra y de la siembra de precisión.

Las medidas de control químico también pueden ser complementadas con otras técnicas de manejo tales como la rotación de cultivos que constituye una herramienta esencial para el desarrollo de la sostenibilidad. Las rotaciones no solo son efectivas para controlar plagas y enfermedades sino que también pueden fortalecer el control de malezas al permitir el uso de una mayor gama de herbicidas y/o fortalecer la actividad de tratamientos particulares de herbicidas, que modifican la fertilidad del suelo y ayudando a mejorar los niveles de materia orgánica del suelo. Es necesario tomar precauciones porque la erradicación química de una especie indeseable puede ir en detrimento de otra especie, por ejemplo, las lombrices de tierra.

Manejo de la fertilidad del suelo

El desarrollo de tecnologías de siembra y de siembra de precisión para labranza cero con la colocación del fertilizante en bandas ofrece nuevas oportunidades para el manejo de los fertilizantes bajo las condiciones de labranza cero. Sin embargo, se aplican todos los principios antiguos existentes.

El elemento fundamental para un uso costo-efectivo del fertilizante es una evaluación cuidadosa de los niveles de fertilizante y de requerimientos de los cultivos. Los análisis de suelos y de tejidos de las plantas son herramientas útiles para este proceso, tanto como

la interpretación correcta de los resultados. Estos resultados deben proporcionar las bases para la selección de las opciones de fertilizantes más rentable, algunas de las cuales podrían ser influenciadas por limitaciones de las máquinas, mientras que otras podrían no serlo.

Sin duda es necesaria más investigación específica bajo las condiciones de labranza cero que determinen el régimen más adecuado de fertilización para cualquier combinación de cultivos, tipo de suelos y clima. Las respuestas de los fertilizantes en la labranza cero pueden ser diferentes de aquellas obtenidas bajo la labranza común en el mismo tipo de suelos. Por ello, los resultados de las experiencias de investigación y extensión en condiciones de labranza común pueden no ser necesariamente correctas cuando se aplican a los sistemas de labranza cero. Sin embargo, por lo general los requerimientos de las plantas no cambian. La siembra en labranza cero con fertilizantes en bandas ofrece una oportunidad para una mayor eficiencia de la aplicación pero las cantidades totales de nutrientes requeridas, con la excepción del nitrógeno, no se alteran mayormente.

Densidad de siembra y calidad de las semillas

Frecuentemente hay serias discusiones sobre la densidad de siembra óptima en la labranza cero. Algunos autores opinan que las densidades de siembra deberían ser incrementadas, presumiblemente para contrarrestar una esperada reducción en la germinación de las semillas y/o la emergencia de las plántulas. Esta práctica es conocida como «seguro» de la densidad de siembra. Sin embargo, el proceder de esta forma, incluso con abresurcos para labranza cero que tienen baja emergencia, puede ser contraproducente si se obtienen las condiciones ideales, ya que resultarían en poblaciones que exceden el óptimo.

Además, las altas densidades de siembra involucran en este caso un innecesario costo adicional de semillas.

Si se usa el equipo adecuado hay pocas o ninguna razón para que el establecimiento de las plántulas en la labranza cero sea menor que en la labranza convencional. De hecho, con los equipos modernos y un sistema apropiado, la labranza cero tiene el potencial para porcentajes de establecimiento más altos que la labranza convencional.

En cualquier caso, el problema importante no es considerar cuánta semilla se siembra, sino que la medida final es el establecimiento de las plántulas. Por lo tanto, las densidades de siembra deberían estar basadas en una evaluación del grado de riesgo según una situación dada que lleve a la predicción de una emergencia efectiva de plántulas (Ritchie *et al.*, 1994, 2000). El primer factor a incorporar es el potencial de germinación de las semillas, el cual está especificado en los datos de la certificación de las semillas. La densidad de siembra puede ser calculada usando la siguiente fórmula:

$$SR = \frac{TSW \times TPP}{EFE}$$

donde: SR = densidad de siembra (kilos por hectárea); TSW = peso de 1.000 semillas (gramos); TPP = objetivo de población de plantas (plantas/m²); EFE = emergencia de campo efectiva (porcentaje).

El principio importante es la rentabilidad para producir la densidad adecuada de plantas. Para confiar en la obtención del número de plantas deseado un agricultor debe usar semillas de buena calidad junto con un equipo de siembra que proporcione un establecimiento confiable de las plántulas en un amplio rango de condiciones.

Otro factor importante es la correcta calibración de la salida de fertilizante y semillas del tubo de la sembradora o la sembradora de precisión. Dado que las semillas de diferentes

variedades de la misma especie pueden variar sensiblemente en peso y tamaño de acuerdo al vigor del cultivo, las condiciones del tiempo e incluso de la ubicación geográfica en el momento de la cosecha, es importante calibrar el mecanismo de dosificación cuando se cambian las variedades. Durante las operaciones de siembra o de siembra de precisión se debería controlar la constancia de la calibración por medio del control de la semilla y el fertilizante usados para cubrir una determinada área. Algunos sembradores cambian la dosificación con el cambio de la temperatura ambiente; el aumento de la temperatura de la mañana a la tarde puede causar un sensible cambio en la densidad de siembra.

En Australia occidental, la experiencia de los agricultores con la versión de abresurcos de ala en la versión de discos para labranza cero mostró que las densidades de siembra para una población equivalente de colza podía ser reducida con buen resultado de 9 kg/ha bajo labranza convencional a 4-5 kg/ha bajo labranza cero si se usa una máquina de diseño avanzado (J: Stone, 1993, comunicación personal). El ahorro de semilla necesaria para todo el predio fue equivalente al costo adicional de la máquina. Antes de reducir la densidad de siembra, la experiencia de este agricultor que sembraba una densidad alta con la sembradora para labranza cero fue que el cultivo permaneció largo tiempo en estado vegetativo y produjo un bajo rendimiento de grano.

Capacidad de los operadores

La labranza cero es una técnica relativamente nueva para los agricultores habituados a la labranza convencional. Cuando los agricultores trabajan en el sistema de agricultura convencional tienen una larga historia disponible en todo el mundo, si bien tal experiencia no es personal. Sin embargo, solo existe una limitada experiencia básica en lo que respecta a la agricultura de conservación. Más aún, esta

limitada experiencia ya ha demostrado que las técnicas de los dos sistemas son diferentes y que deben aprenderse nuevos procedimientos de manejo.

El tipo de trabajo de la agricultura de conservación que se basa en «un solo pase» deja poco margen para posibles errores. Por otro lado, la gama de implementos y funciones involucradas es mucho menor. Por lo tanto, un conocimiento detallado de las máquinas principales –asperjadoras y sembradoras– puede ser alcanzado más fácilmente.

Dado que es muy probable que en la labranza cero las condiciones físicas del suelo varíen más de campo a campo o incluso dentro del mismo campo, el operador tiene una mayor necesidad de entender los principios involucrados en esas condiciones y ser capaz de ajustar la maquinaria de acuerdo a las mismas. Por supuesto, las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero varían ampliamente en su capacidad para reconocer las variaciones del suelo gracias al ajuste automático que pueden hacer, pero de cualquier manera requieren que el operador tenga una óptima capacitación.

Es probable que en el futuro se pueda contar con un incremento en el uso de equipos electrónicos de supervisión y control de las funciones de las sembradoras y las sembradoras de precisión para mejorar su comportamiento y reducir la dependencia del operador. También es probable que la operación de estas máquinas se convierta en una tarea especializada con un mayor énfasis en la capacitación de los operadores.

Manejo post-siembra

Una fase peculiar ha sido creada para la era moderna de la agricultura intensiva* que implica la importación de supervisar cuidadosa y

* N. del T.: En inglés «*knee-action farming*».

periódicamente el comportamiento de los cultivos durante todo el ciclo de crecimiento. En muchos casos, esta supervisión requiere que el inspector se arrodille para observar el cultivo, frecuentemente con ayuda de una lupa, en lugar de hacerlo parado.

Este principio no es exclusivo de los sistemas de labranza cero, pero es fundamental para obtener buenos resultados desde el momento que las normas para la labranza cero difieren de aquellas de la labranza convencional. La técnica de la labranza cero ha sufrido en el pasado la falta de análisis de las razones de los pobres resultados obtenidos. A menudo los agricultores y los investigadores han condenado el sistema de labranza cero en base a los malos resultados sin determinar las razones específicas de esos fracasos. Esto contrasta con la aceptación de un fracaso en la agricultura convencional a causa de dificultades climáticas o como hecho «de justicia divina» o simplemente mala suerte.

En algunos casos, parece haber habido una falta de comprensión de que los fracasos de la labranza debidos a fuertes vientos o a la erosión hídrica no son causados por una oportunidad desafortunada sino, en primer lugar, por una falla inherente del sistema de labranza que es incapaz de proteger el cultivo de esos riesgos. La labranza cero reduce algunos de esos riesgos, pero puede introducir otros riesgos de diferente naturaleza. Por ejemplo, el control de plagas es más importante en algunas situaciones de labranza cero ya que no hay destrucción física de su ambiente al faltar el proceso de labranza. Todo esto significa que el agricultor debe mantener una vigilancia estricta del desarrollo del cultivo para reaccionar rápidamente frente a los problemas de manejo que pudieran surgir. Es necesario que el agricultor tenga la capacidad de identificar los problemas específicos y cómo solucionarlos o, por lo menos, saber donde se puede obtener asistencia. Las observaciones regulares y cuidadosas son una herramienta importante para este tipo de agricultura.

Planificación – la herramienta más importante para el manejo

La labranza cero es un sistema potencialmente muy flexible. Ofrece a los agricultores la oportunidad de responder rápidamente a los cambios en las condiciones del suelo o climáticas o a los indicadores del mercado. Sin embargo, también es un sistema que recoge beneficios de la planificación a largo plazo y de las revisiones periódicas de esos planes. El éxito de un cultivo puede muy bien depender de la implementación de un plan establecido varios meses antes. Por ejemplo, la rotación de cultivos tiene influencia sobre el manejo de malezas, los niveles de fertilidad y la cantidad de residuos. La planificación proporciona oportunidades para obtener ventajas de esas oportunidades cambiantes y de los mercados.

El manejo de residuos en la labranza cero es un caso específico (Capítulo 10). Obviamente, las decisiones en el momento de la cosecha del cultivo anterior tendrán una influencia significativa en la fase siguiente de la rotación, la cual puede ocurrir varios meses más adelante. Estos eventos conectados se relacionan con el uso de agroquímicos, la selección de equipos, los programas de fertilización, la rotación de cultivos y la forma de cosecha, todo lo cual enfatiza la función de la planificación anticipada como una herramienta del manejo.

Otro ejemplo es la aplicación de cal para elevar el pH del suelo, algo que en la labranza cero debería ocurrir seis meses antes de la siembra ya que sin labranza la oportunidad de mezclar este fertilizante de baja solubilidad con el suelo es limitada.

La mayoría de los otros aspectos generales de un programa de producción agrícola aplican un mantenimiento regular y riguroso de mantenimiento de las sembradoras y de las sembradoras de precisión y de otros equipos y también están en contacto con los abastecedores y contratistas para asegurar que todos los componentes del programa están

disponibles en el momento oportuno. La conservación de registros correctos es una parte integral de cualquier programa efectivo de manejo.

El Cuadro 30 resume el momento de actuar en la toma de decisiones clave para el manejo del campo si se desea completar un programa exitoso de labranza cero. Este no contiene una receta sino que remarca solamente los temas importantes. Dado que muchos de los hechos ocurren antes de la siembra, la planificación previa es uno de los puntos más relevantes.

Comparación de costos

Ningún análisis de manejo de un sistema de labranza cero estará completo si no se examinan cuidadosamente los costos-beneficios de la elección de una sembradora o sembradora de precisión de diferente complejidad, capacidad de trabajo y costo. Los estudios económicos (Baker, 1993a, b, c, 1994, 1995) muestran que a medida que se incrementa el uso anual de una sembradora se llega a un punto donde hay poca diferencia entre la propiedad y los costos operativos de máquinas simples de bajo costo y equipos avanzados de alta tecnología de alto precio. El Cuadro 31 muestra una comparación de costos. Mientras los costos absolutos y los impuestos no son de aplicación general, es probable que los valores relativos entre las varias opciones sean de mayor validez universal.

Para un uso anual de 50-100 hectáreas, los equipos más avanzados son excesivamente costosos (\$EE UU 95-182/ha) comparados con máquinas simples de bajo costo (\$EE UU 45-69/ha). Sin embargo, a partir de 600 hectáreas por año las diferencias son mínimas, \$EE UU 18-26/ha y pueden aun favorecer a las máquinas grandes. Los datos del Cuadro 31 pueden ser considerados conservadores ya que no toman en consideración el mayor establecimiento de plántulas o rendimientos que es posible que se obtengan por el uso de equi-

pos más avanzados. Los costos, sin embargo, toman en consideración la mayor velocidad de operación y los menores costos de mantenimiento de las máquinas más avanzadas. Por ejemplo, Saxton y Baker (1990) encontraron que una máquina avanzada para labranza cero con abresurco de alas incrementó los rendimientos de trigo en un promedio del 13 por ciento. Los cálculos si se usa un mayor impuesto del 24 por ciento y/o tasas de interés más bajas del 11 por ciento darán lugar a que las máquinas más grandes sean más económicas cuando se hace un uso menor de 600 hectáreas anuales.

Resumen del manejo de un sistema de siembra bajo labranza cero

1. El riesgo de fracaso de un sistema de siembra de labranza cero puede ser reducido asegurando un alto nivel de insumos para todos los factores, no solo para el equipo de siembra.
2. Elegir sitios que puedan ofrecer un alto potencial de retorno del sistema de labranza cero.
3. Los agroquímicos por lo general reemplazan la labranza como forma de control de las malezas y deben ser seleccionados y aplicados cuidadosamente.
4. La rotación de cultivos puede ser una herramienta efectiva de manejo cuando se usa conjuntamente con agroquímicos para controlar las malezas, las plagas y las enfermedades.
5. Algunos equipos para labranza cero permiten una amplia gama de opciones para la aplicación de fertilizantes. Un correcto análisis del nivel de fertilidad del suelo y de los requerimientos de los cultivos harán un uso adecuado de esta ventaja.
6. El uso de cantidades excesivas de semillas de baja calidad para compensar un modelo impropio de la sembradora o de

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelandia.

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
Cualquier momento antes de la siembra	Asegurar que el drenaje es correcto	La labranza cero no puede rectificar suelos pobremente drenados
Cualquier momento antes de la siembra	Determinar cuánto riesgo está dispuesto a correr el agricultor	Los riesgos estarán influenciados por la elección del herbicida (la efectividad es función de las condiciones: condiciones pobres necesitan mejores formulaciones); los cebos para babosas (infestaciones serias y condiciones húmedas necesitan mejores formulaciones); los pesticidas (asegurar que el agricultor ha elegido el tratamiento correcto); la sembradora (condiciones difíciles y semillas pequeñas necesitan mejor tecnología); las semillas (las condiciones adversas ponen más presión sobre la calidad de las semillas)
Cualquier momento antes de la siembra	Control de plagas que no son específicas de la labranza cero	Algunas plagas pueden necesitar un tratamiento antes o en el momento de la siembra
En algún momento antes de la siembra	Subsolar para aliviar la compactación, si esta existiera. Es mejor cuando el suelo está seco	Considerar semillas tratadas con insecticidas Usar un subsolador que no rompa mucho la superficie a fin de evitar la labranza para uniformizar el terreno. En estos casos son preferibles subsoladores poco profundos
Cuando el ganado pesado se saca del campo	Eliminar las huellas de pezuñas de más de 75 mm de profundidad	La mayoría de los abresurcos uniformizan las huellas de pezuñas a medida que siembran (algunos mejor que otros). Con huellas más profundas usar un subsolador « <i>Ground Hog</i> », un subsolador poco profundo o una niveladora para eliminar solo la parte superior cuando el suelo está algo friable en la superficie
Seis meses antes de la siembra	Aplicar cal si el pH del suelo es bajo	La cal requiere más tiempo para actuar si no hay cultivos que la incorporen. No aplicar cal cerca del momento de la aspersión. La cal en las hojas de las plantas puede afectar el glifosato, es de lenta disolución y se lixivia en el suelo
Tres meses antes de la siembra	Tomar muestras de fertilidad del suelo	Se necesita tiempo para obtener los resultados, analizar las opciones de fertilizantes y tomar medidas. En labranza cero a largo plazo puede más adecuado tomar muestras a 75 mm de profundidad y no a 150 mm
Tres semanas antes de la siembra	Asperjar con glifosato + chlorpyrifos si hay <i>Holocantella paucispinosa</i> , áfidos o gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i>	Si los agricultores no desean usar las altas dosis de chlorpyrifos, el control del gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i> puede ser obtenido esperando tres semanas entre aspersión y siembra. Sin embargo, una dosis baja de chlorpyrifos puede ser necesaria para controlar <i>Holocantella paucispinosa</i> o áfidos
Por lo menos dos semanas antes de la siembra	Sacar el ganado del campo si está en pasturas que aún no han sido asperjadas	El glifosato, para ser más efectivo, debería ser asperjado sobre cultivos limpios y con hojas nuevas. Esto produce una espesa cobertura que ayuda a controlar las malezas y retener la

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (Continuación).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
		<p>humedad siempre que el abresurcos pueda manejar los residuos. Si fuera necesario, las pasturas pueden ser pastoreadas después de la aspersión, siempre que no se haya usado chlorpyrifos</p> <p>No pastorear inmediatamente después de la aspersión ya que se reduce el área foliar. Además, el estiércol fresco reduce el control de las malezas y afecta adversamente el trabajo de algunos abresurcos. El tiempo necesario para mejorar una pastura varía con las condiciones de crecimiento del momento</p>
Diez días antes de la siembra	Controlar la presencia de babosas	Distribuir pequeños trozos de madera sobre el campo y dejarlos 2-3 días. Una o dos babosas debajo de un trozo de madera de 300 mm de largo indican la necesidad de hacer un tratamiento
Una semana antes de la siembra	Precebado para babosas	Es necesario solamente en caso de fuertes infestaciones. Las infestaciones bajas o moderadas pueden ser controladas con cebos en el momento de la siembra. En las infestaciones fuertes aplicar la mitad del cebo una semana antes de la siembra y la otra mitad en la siembra o inmediatamente después. Algunas sembradoras pueden aplicar cebo contra las babosas a medida que siembran, ya sea al voleo en la superficie o dentro de las ranuras
Uno a diez días antes de la siembra	Asperjar glifosato (para controlar la competencia) junto con chlorpyrifos (para controlar plagas)	<p>Mezclar en el tanque chlorpyrifos con glifosato cuando sea necesario controlar plagas. Cuanto mayor es la distancia en el tiempo entre la aspersión y la siembra, más friable se vuelve el suelo ya que se descomponen las raíces. Sin embargo, el suelo se seca más lentamente después de la aspersión ya que las plantas están muertas. En el caso de lluvia después de la aspersión el suelo puede permanecer húmedo más tiempo.</p> <p>Cuando se cortan pasturas para ensilar, esperar 3-4 días después de la aspersión antes de cosechar</p>
Uno a tres días antes de la siembra	Observar el contenido de humedad del suelo	La mayoría de los abresurcos para labranza cero trabaja mejor cuando el suelo está ligeramente seco en la superficie. Es necesario tener paciencia y esperar unos pocos días para obtener mejores resultados

(continúa)

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (Continuación).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
En el momento de la siembra	Aplicar preferiblemente todo el fertilizante del cultivo con el abresurcos. Cultivos como el trigo de invierno y el maíz pueden necesitar fertilizante adicional después de la emergencia	Sólo aplicar fertilizante con el abresurcos si la sembradora es lo suficientemente avanzada para colocarlo en bandas y separado de la semilla (no mezclado con la semilla). Las respuestas de los rendimientos de los cultivos a la colocación del fertilizante pueden ser espectaculares y hay límites muy elásticos de cuál y cuánto fertilizante puede ser aplicado. Puede ser hecho solo con las sembradoras más avanzadas. Si estas máquinas no están disponibles, evitar la colocación del fertilizante debajo del abresurcos o seleccionar cuidadosamente fertilizantes que «no quemem» la semilla. En estos casos la opción principal es esparcir al voleo si bien algunos agricultores prefieren colocar primero el fertilizante solo y después sembrar a una menor profundidad en una segunda operación
En el momento de la siembra	Asegurar que toda la semilla sea sembrada a la profundidad requerida y correctamente cubierta	Algunas veces es más fácil decir que hacer esto, salvo cuando hay abresurcos avanzados para labranza cero. Cuando estos abresurcos no están disponibles se debe aceptar un cierto nivel de riesgo ya que la germinación y la emergencia serán altamente dependientes del tiempo favorable, de los campos nivelados y de un bajo nivel de residuos
En el momento de la siembra	Aplicar cebo contra las babosas	Es más importante con las siembras de primavera pero también puede ser importante en otoño. Las infestaciones bajas o moderadas de babosas pueden, por lo general, ser controladas aplicando cebos ya sea con la sembradora o tan pronto como ha terminado la siembra. Obtener información de los expertos sobre la efectividad de los distintos cebos
En las primeras tres semanas después de la siembra	Abrir ranuras y controlar el daño de las babosas	A menudo hay una oportunidad para aplicar cebo contra las babosas después de la siembra si no se hizo en la siembra y se han encontrado babosas comiendo en las ranuras
En las primeras tres semanas después de la siembra	Abrir ranuras y controlar plántulas retorcidas	Contrariamente a lo que generalmente se piensa las plántulas retorcidas no indican quemado por el fertilizante. Indican semillas de bajo vigor. Tomar muestra de las semillas para hacer pruebas de vigor (no confundir con germinación) en un laboratorio de análisis de semillas. En casi todos los casos las plántulas retorcidas son originadas por semillas de bajo vigor; comentarlo con el abastecedor de semillas

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (Continuación).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
En las primeras tres semanas después de la siembra	Controlar el daño del curculiónido <i>Holocanthea paucispinosa</i> , de los áfidos o del gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i>	Estas plagas deberían haber sido controladas mezclando glifosato y chlorpyrifos en el tanque. Si esto no se hizo, es necesario vigilar cuidadosamente porque estas son las principales plagas de la labranza cero y pueden arruinar todo un cultivo o pastura.
En las primeras tres semanas después de la siembra	Controlar otras plagas no controladas por chlorpyrifos	Las plagas más normales de los cultivos y las pasturas podrían también causar problemas en la labranza cero. Poner la misma atención que en un cultivo bajo labranza
Cuatro a seis semanas después de la siembra de la pastura	Controlar la resistencia al arrancado manual de las nuevas plantas de gramíneas	Cuando las nuevas plantas de gramíneas no se arrancan fácilmente con la mano podrían estar prontas para un pastoreo liviano. Usar animales livianos en gran número y en períodos cortos en lugar de pocos animales por períodos largos
Después de seis semanas	Tratar normalmente los cultivos o pasturas	Esto no significa descuidarlos sino que todos los problemas que surgen no serán peores que bajo labranza convencional. De hecho, las nuevas pasturas bajo labranza cero a causa de la firmeza del suelo pueden a menudo ser tratadas en la misma forma que las pasturas bien establecidas. Mejora la utilización de las crucíferas forrajeras porque una mayor proporción de las raíces a cosechar están sobre la tierra
En el momento de la cosecha	Desparramar uniformemente los residuos de los cultivos	No quemar los residuos de los cultivos excepto cuando el abresurcos que vaya a ser utilizado en la próxima siembra no los pueda manejar. La producción de fardos es aceptable pero retarda el incremento de la materia orgánica del suelo. Con algunos abresurcos será necesario cortar los residuos. Unos pueden manejar los residuos en cualquier forma, pero otros no pueden manejar ningún tipo de residuos. Los operadores deben saber qué abresurco será usado en el próximo cultivo bajo labranza cero antes de tomar decisiones sobre el manejo de residuos del cultivo actual
Después de uno a cinco años de labranza cero	Examinar el suelo y la cuenta bancaria	Probablemente, ambos hayan mejorado. La estructura, sanidad, porosidad, materia orgánica y actividad de las lombrices de tierra del suelo habrán mejorado sensiblemente. Siempre que el sistema se haya manejado correctamente y usado los niveles adecuados de insumos para el nivel de riesgo aceptado, el margen bruto debería incrementarse progresivamente

Cuadro 31 Costos comparativos de la propiedad y de operación (\$EE UU/ha) de sembradoras para labranza cero.

Área sembrada (ha/año)	Sembradoras simples de bajo costo	Sembradoras convencionales para labranza cero	Sembradoras avanzadas para trabajo pesado
50	69	107	182
100	45	62	95
20	32	39	53
40	26	29	30
600	24	26	23
800	23	23	20
1 000	23	21	18

Nota: Sembradoras simples de bajo costo = \$EE UU 15 000.

Sembradoras convencionales para labranza cero = \$EE UU 30 000.

Sembradoras avanzadas para trabajo pesado = \$EE UU 65 000.

Otras asunciones importantes: impuestos: 24%; inflación: 4%; tasa de interés: 11%; depreciación: 12,5%; período de análisis: cinco años; los costos de los tractores son adicionales.

la sembradora de precisión, puede ser costoso e ineficaz.

7. La labranza cero requiere que los nuevos operadores aprendan una nueva capacidad de manejo pero también ofrece la oportunidad para una mayor especialización de los operadores.
8. Un programa de labranza cero que no esté bien manejado puede fracasar a causa de problemas posteriores a la siembra y su seguimiento.
9. Una buena planificación de todos los aspectos del programa de labranza cero es una parte importante del manejo del riesgo.
10. Las sembradoras avanzadas para labranza cero comienzan a tener rendimiento económico cuando se usan cerca de 600 hectáreas anuales.
11. La labranza cero representa una economía respecto a la labranza convencional. Es necesario no desperdiciarla.

16

La agricultura con tráfico controlado – una práctica complementaria para la labranza cero

W. C. Tim Chamen

La eliminación de la compactación inducida por los vehículos en el área de cultivo libera los cultivos y los suelos de un estrés innecesario, fortalece su comportamiento y la sostenibilidad de la producción con un mínimo de insumos.

¿Qué es la agricultura con tráfico controlado?

La agricultura con tráfico controlado divide el área de cultivo y los caminos en zonas distintas y permanentemente separadas. Todos los implementos tienen una medida específica (o múltiplo de esta) y todas las huellas de las ruedas están confinadas a estas líneas particulares de tráfico controlado. No deberían ser confundidas con las guías que ayudan para el pasaje de las máquinas para la aplicación de agroquímicos pero que no ofrecen una separación permanente de las huellas y los cultivos. La Figura 42 muestra el sistema basado en la tecnología existente. Es probable que a largo plazo se desarrollen equipos más especializados que puedan flexibilizar y mejorar más aún la eficiencia del sistema.

¿Por qué adoptar un régimen de agricultura con tráfico controlado dentro de un sistema de labranza cero?

Los beneficios de un sistema de tráfico controlado

Los suelos no solo sostienen físicamente los cultivos sino que también son el medio en el cual las raíces crecen y extraen agua, nutrientes y aire para su crecimiento y desarrollo. El confinamiento o las restricciones a las raíces, casi invariablemente, conducirán a resultados negativos. La reducción de la compactación inducida por el paso de vehículos mejora y sostiene las buenas condiciones del suelo. Absorbe más agua de lluvia que queda disponible para las raíces, las cuales a su vez están mejor dotadas para explorar y extraer nutrientes. La mejor porosidad también asegura un intercambio gaseoso y un drenaje efectivos y ambos mejoran aún más el potencial para un rendimiento óptimo de los cultivos.

La labranza cero mejora muchas propiedades importantes del suelo, pero aun así muchos suelos son aún susceptibles a la compactación

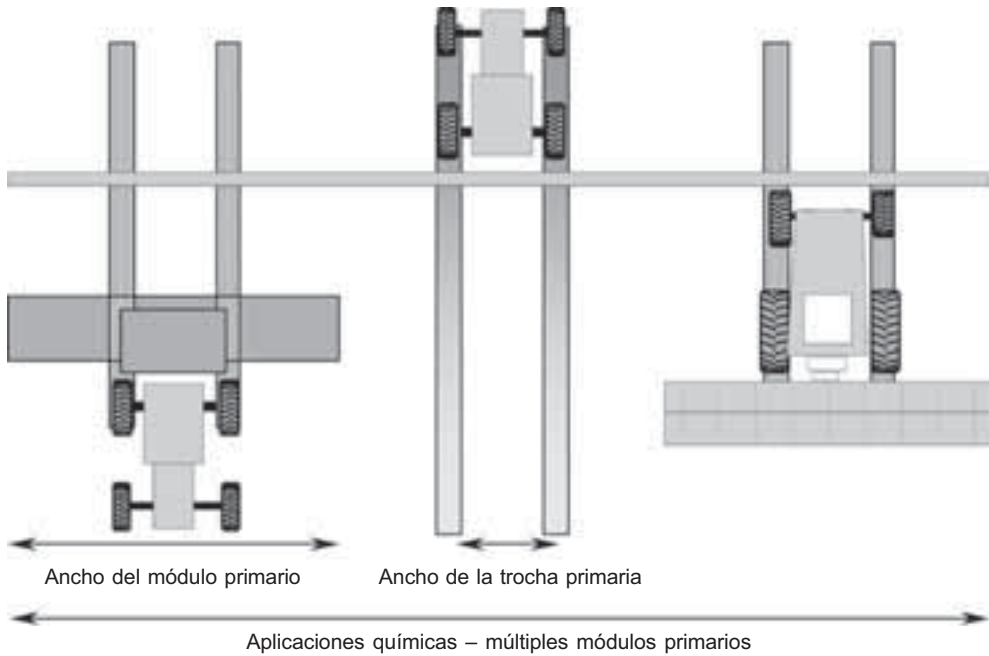


Figura 42 Sistema de labranza con tráfico controlado que muestra la siembra, la aspersión y la cosecha. En esta escala, todas las huellas pueden ser sembradas, excepto las usadas para las aplicaciones de productos químicos.

causada por las ruedas de los vehículos y las pezuñas de los animales, sin considerar cuánto tiempo han estado bajo el régimen de labranza cero.

También mejora el comportamiento de las máquinas al evitar los daños mecánicos inducidos por la compactación. Los diferentes grados de compactación de los suelos se diferencian en su fortaleza y respuesta a los insumos mecánicos. Por ejemplo, es difícil obtener óptimos resultados de los abresurcos de las sembradoras. Los abresurcos pueden trabajar bien en una condición o posición en una sembradora o, al contrario, pueden tener un comportamiento pobre en otras condiciones y posiciones. Una condición más homogénea del suelo en todo el campo proporciona una mayor precisión de las máquinas. Al evitarse la compactación del suelo disminuye la heterogeneidad o variabilidad de sus propiedades, tanto dentro de un solo tipo de suelo como

entre tipos de suelos, lo que hace que sean más fáciles de manejar y adecuados para un mayor número de cultivos bajo un régimen de labranza cero.

Efectos de la agricultura de tráfico controlado sobre las condiciones del suelo

Los sistemas agrícolas de labranza cero pueden causar diferentes niveles de disturbios en el suelo. En un principio, la labranza cero se concentró para evitar las operaciones de labranza en términos generales, pero en los últimos tiempos se ha puesto énfasis en la importancia de minimizar el disturbio creado por las herramientas de labranza cero, en especial los abresurcos. El escaso disturbio causado por la labranza cero ocurre desde el momento en que los abresurcos de las sembradoras y de

las sembradoras de precisión tienen como objetivo la interrupción mínima del suelo, suficiente solo para sembrar las semillas y colocar el fertilizante pero que dejan el suelo como si no hubiera sido trabajado en absoluto. Otras formas de labranza cero cuentan con cinceles más agresivos, abresurcos de dientes o tipo azada que dejan la superficie y a menudo las capas más profundas sin disturbar, similar a los efectos de la labranza mínima o la labranza reducida.

Definir un nivel escaso de disturbios en la labranza cero no es una tarea simple. Una regla general es que al menos el 70 por ciento de los residuos superficiales originales deberían permanecer sin disturbar sobre la tierra después del paso de la sembradora. Para los abresurcos que operan a una distancia entre surcos de 750 mm, un 30 por ciento de disturbio permite que queden 112 mm para ser disturbados a cada lado del surco mientras que con un espaciado de 150 mm, es aceptable que a cada lado del surco queden 22,5 mm.

En términos generales, cuanto mayor es la compactación que sufre el suelo tanto mayor será la necesidad de reparación. La labranza cero propone un remedio a esa situación al reducir la intensidad del tráfico, lo que evita el disturbio del suelo y permite que el suelo se reestructure. La eliminación del tráfico permitirá que esto ocurra en mayor medida y más rápidamente. El elemento más importante para la creación y mantenimiento de una mejor estructura del suelo es la minimización de los disturbios y, como se ha visto anteriormente, cuanto más agresivo es el abresurcos, mayor será el disturbio.

A diferencia de los suelos en que se circula desordenadamente, cuando los abresurcos deben crear una cama de semillas y sembrar, los suelos sin tráfico tienden a retener sus camas de semillas de una estación a otra de modo que solo se requiere colocar las semillas y el fertilizante. Desde todos los puntos de vista, cuanto menor es el disturbio creado durante la siembra dentro de un régimen de labranza

cero, mejores serán los resultados; el control del tráfico dentro del predio contribuye a esto. Cuando se han hecho comparaciones de tráfico sin ordenación y con control de tráfico, los datos de las investigaciones raramente incluyen detalles sobre los modelos de abresurcos; por ello las condiciones óptimas para los ensayos pueden no haber estado presentes, lo cual puede o no haber afectado los resultados.

Resistencia del suelo

La resistencia de los suelos está gobernada por varios factores, algunos de los cuales están interrelacionados y todos tienen impacto sobre la labranza cero. Los suelos compactados son más duros y tienen más resistencia a la penetración que los suelos no compactados, especialmente cuando disminuye el contenido de agua (Blackwell *et al.*, 1985; Campbell *et al.*, 1986; Gerik *et al.*, 1987; Chamen *et al.*, 1990, 1992; Dickson y Campbell, 1990; Carter *et al.*, 1991; Unger, 1996; Radford *et al.*, 2000; Yavuzcan, 2000; Abu-Hamdeh, 2003; Radford y Yule, 2003).

En un experimento de 10 años de duración, uno de los tratamientos consistió en someter un vertisol con el 25-32 por ciento de humedad a una carga de una rueda de cinco toneladas en el primer año y a una carga de tres toneladas anuales durante cinco años, después del tratamiento inicial (Radford y Yule, 2003); se usó labranza para el control de malezas en los primeros cinco años de una rotación de cultivos arables. Al final del período inicial de cinco años, se aplicaron a las mismas parcelas la labranza cero y el control del tráfico durante otros cinco años. La mayor resistencia persistió en el perfil de 0-100 mm durante tres años, mientras que en el tratamiento con cargas repetidas de cinco toneladas en los cinco primeros años (comparadas con tres toneladas después del primer año), persistieron los efectos de la resistencia a 100 mm durante casi cinco años después de la iniciación de la labranza cero.

Estos datos sugieren que los suelos con tráfico sin ordenar pueden tener niveles de variabilidad de la resistencia como resultado del pasaje indiscriminado del tráfico. Si bien esas diferencias pueden tender a disminuir con el tiempo en un régimen de labranza cero, el mejoramiento natural en la parte superior y en los centímetros más importantes del suelo tenderá a diferenciarse de acuerdo con el tipo de suelo, el diseño de los abresurcos y el nuevo tráfico. Además, habrá un incremento general de la resistencia del suelo originada en los reiterados pasajes de las ruedas. En algunos suelos esto no puede ser completamente contrarrestado por mejoramientos estructurales debidos a la falta de disturbio o por una mayor concentración de materia orgánica en las capas superficiales.

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA DEL SUELO SOBRE LOS NUTRIENTES Y EL CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS. La mayor resistencia del suelo reduce la capacidad del cultivo para extraer nutrientes; como resultado, el sistema del suelo perderá algunos de ellos. En cualquier suelo particular, la variación de la resistencia es dominada por cambios en el contenido de agua pero la resistencia con un contenido específico de agua es determinada por su estado de compactación. La denitrificación causada por la compactación es una fuente de pérdida de nitrógeno y un enraizamiento restringido puede causar una pobre absorción del fósforo (Wolkowski, 1990, 1991). La absorción del potasio es afectada, en primer lugar, por la aireación: su absorción es afectada por debajo de un nivel de concentración de oxígeno cercano al 10 por ciento.

La denitrificación puede conducir a una pérdida de fertilizante en el sistema de labranza cero y en condiciones húmedas (Torbert y Reeves, 1995). Cuando el suelo está seco la absorción de nitrógeno puede ser afectada por la compactación, al limitarse el crecimiento de las raíces. Este efecto ha sido la causa de la pérdida de nitrógeno, especialmente en con-

diciones de labranza cero, después de una fertilización nitrogenada y fuertes lluvias (Ball *et al.*, 1999). La denitrificación y la producción de metano han sido identificadas como unas de las principales limitaciones al mejoramiento del comportamiento ambiental de la labranza cero comparada con la labranza limitada (King *et al.*, 2004). King *et al.* lo atribuyeron a un incremento de la densidad de la parte superior del suelo y a una pobre aireación.

La resistencia del suelo directamente encima de las plántulas emergentes también puede ser un problema. Addae *et al.* (1991) sugirieron la siguiente relación:

$$Y = 90,4 - 3,58X$$

donde:

Y = emergencia de las plántulas
(en porcentaje)

X = resistencia del suelo, kPa

La fuerza máxima que un coleoptile de trigo puede ejercer es de cerca de 30 g y solamente cuando la resistencia es menor de 25 g es posible esperar una emergencia del 100 por ciento (Bouaziz *et al.*, 1990). La compactación del suelo por encima de una plántula emergente reduce, por lo tanto, la emergencia, especialmente cuando el suelo está húmedo. La variación en el momento de la emergencia a menudo está asociada con las variaciones de la resistencia del suelo (Brown, 1997).

EFFECTOS DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO SOBRE SU RESISTENCIA. Un mayor resistencia del suelo puede ser atribuida a cambios en su estructura. Es un hecho que se observa fácilmente que los suelos arcillosos que no se contraen presentan plasticidad cuando están húmedos y forman terrones cuando se secan; raramente muestran la friabilidad y las características de flujo de los materiales granulados no compactados. Como consecuencia, los suelos con

tráfico sin ordenar, no solo presentan grandes variaciones en su resistencia a la penetración sino que también reaccionan en forma diferente cuando son disturbados. En algunas áreas pueden presentar un flujo suave mientras que en otras se pueden embarrar o fracturar en agregados, por lo general grandes, pero de tamaño variable. Esta situación no es favorable cuando se diseña un abresurco para trabajar en forma continuada en un determinado tipo de suelo. Esto es aún más difícil cuando el tipo de suelo cambia a través del campo. Para superar el problema de la profundidad variable de penetración, se han diseñado recientemente sistemas electromecánicos de control para abresurcos para labranza cero para enfrentar los cambios de resistencia del suelo y para que sea una solución duradera para superar el problema (Capítulo 13).

Uno de los resultados de la labranza para solucionar la compactación, en el intento de crear una estructura de una cama de semillas uniforme pero artificial, es la interrupción de los procesos naturales de formación de la estructura del suelo. Esto ocurre a pesar del hecho de que los procesos puramente mecánicos empleados causarán inmediatamente que el suelo sea más susceptible a los efectos negativos del tráfico desordenado y a otras influencias de la compactación. Por lo tanto, si la labranza temporal hace que la operación de las sembradoras sea relativamente simple, compromete el suelo en una espiral negativa de compactación y degradación estructural que nunca ha constituido una solución a largo plazo.

Cockcroft y Olsson (2000) sugirieron que la labranza cero y la ausencia de tráfico no podían evitar el problema del endurecimiento de algunos tipos de suelos. Si bien los bioporos contribuyen a la infiltración del agua y el aumento de la materia orgánica mejora la situación, el drenaje y el crecimiento de las raíces pueden aún ser amenazados. Aún debe encontrarse una solución sostenible para estos tipos de suelos.

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA DEL SUELO SOBRE LA FUERZA DE TIRO Y EL DESGASTE DE LOS IMPLEMENTOS. Si bien la labranza cero tiende a minimizar el disturbio del suelo, la fuerza necesaria para desplazar el suelo durante la siembra es directamente proporcional a su resistencia. Chamen *et al.* (1990) informaron de una reducción del 25 por ciento del requerimiento de energía para un suelo sin tráfico en labranza cero comparado con un suelo con tráfico, a pesar de tener una profundidad de operación ligeramente superior (56 mm en el suelo sin tráfico comparado con 50 mm en el suelo con tráfico). Estos resultados son similares a las reducciones de energía obtenidas en labranza con rastra de dientes en suelos con tráfico y sin tráfico (Lamers *et al.*, 1986).

Un consecuencia adicional de una menor resistencia del suelo es la reducción proporcional del desgaste de los componentes de los equipos que están en contacto con el suelo. Un menor desgaste ahorra repuestos, trabajo y tiempo perdido en las reparaciones.

Mientras que en los suelos labrados y en algunos suelos sin labrar a menudo se encuentra que los abresurcos que trabajan detrás de las ruedas deben ser reemplazados más frecuentemente que en otros modelos, en otras situaciones puede ocurrir lo contrario. En Nueva Zelanda, cuando se trabaja con abresurcos para labranza cero en pasturas de larga duración y con una alta capacidad de carga animal, los disturbios de la superficie que surgen del patinaje de las ruedas de los tractores, a menudo aflojan el terreno y no compactan el suelo ni desgastan los abresurcos en los lugares de las marcas de las ruedas.

Estructura del suelo

El hecho de evitar la compactación del suelo inducida por los vehículos puede tener un impacto importante en los aspectos de la estructura relacionados con el movimiento del agua y los gases dentro y fuera del suelo. Numerosas investigaciones se han concentrado en estos problemas. McQueen y Shepherd

(2002) concluyeron que algunos suelos que se incorporaron a la producción de cultivos después de haber estado bajo pasturas permanentes podían ser deformados a causa del tráfico. La compactación, incluso en los suelos bajo labranza cero, redujo la infiltración del agua (Ankeny *et al.*, 1990; Meek *et al.*, 1990; Li *et al.*, 2001), la porosidad del suelo, la conductividad del suelo saturado (Waggoner y Denton, 1989), el llenado de los poros con aire y la permeabilidad (Blackwell *et al.*, 1985; Campbell *et al.*, 1986).

Por otro lado, los abresurcos para labranza cero y disturbio mínimo que se usan en suelos sedimentarios de Nueva Zelanda han dejado la mayoría de los índices de calidad del suelo (que incluye la estructura del suelo) en un estado similar a la pastura permanente original. Incluso después de 20 años de dos cultivos anuales con labranza cero y tráfico intenso y sin ordenar, no hubo un efecto obvio sobre tales suelos, comparados con sus equivalentes bajo pastura (Anónimo, 2000; Ross *et al.*, 2000, 2002a, b; Ross, 2001, 2002).

La capacidad del aire y la disponibilidad de agua son afectadas en primer lugar por la densidad del suelo, el carbono orgánico y el contenido de arcilla siendo este último es relativamente más importante en el subsuelo. La variabilidad en la capacidad de aire y en la disponibilidad de agua son altamente dependientes de la densidad y de la textura del suelo. En un suelo arcilloso limoso, el agua disponible se redujo a la mitad con un incremento de la densidad de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a $1,75 \text{ g/cm}^3$ (Hall *et al.*, 1997).

La reducción de la infiltración debida a la compactación del tráfico puede aumentar la escorrentía y la erosión. Wang *et al.* (2003) encontraron una duplicación de la escorrentía en parcelas con tráfico comparadas con parcelas sin tráfico bajo labranza cero y aproximadamente un incremento triplicado de pérdida de suelo.

Los mejoramientos ambientales asociados con los suelos no compactados también se rela-

cionan con las pérdidas gaseosas hacia la atmósfera. Una reducción de los poros llenos con aire debida a la compactación conduce a la denitrificación en los suelos arcillosos. Del mismo modo, la labranza cero y el tráfico controlado parecen preservar las tasas de oxidación del CH_4 (Ball *et al.*, 1999).

También hay evidencia de una mayor disponibilidad de agua para los cultivos en algunas áreas de suelos arcillosos, sin tráfico, a pesar de que se haya realizado una labranza poco profunda (100 mm). Los cambios en el potencial mátrico a 150 mm de profundidad en un período de 48 horas mostró grandes fluctuaciones en un suelo con tráfico comparado con pequeños cambios en un suelo sin tráfico. Esto último refuerza la importancia de promover la estructura natural del suelo por medio de la labranza cero y del tráfico controlado (Chamen y Longstaff, 1995).

Campbell *et al.* (1986), trabajando en un suelo arenoso arcilloso, encontraron que en ausencia de tráfico el suelo podría ser reclasificado de inadecuado a completamente adecuado para labranza cero.

Las implicaciones del tráfico controlado para las operaciones de labranza cero

RESIDUOS Y MANEJO DE RESIDUOS. Los residuos son un elemento fundamental en los sistemas de labranza cero porque no son incorporados en el suelo antes de la siembra del cultivo siguiente; sin duda, muchos de los beneficios de la labranza cero proceden de este hecho. Es preferible dejar los residuos *in situ* sobre la superficie del suelo para que se descompongan lentamente a fin de que los mismos y los productos de su descomposición sean incorporados gradualmente por la fauna, especialmente por las lombrices de tierra. Esto también es ventajoso en lo que respecta al nitrógeno que a menudo es bloqueado temporalmente por la descomposición rápida de la materia orgánica. El manejo de los residuos antes y durante la siembra es, por lo tanto,

particularmente importante si el cultivo debe ser sembrado sin interferencias o efectos adversos subsiguientes sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas.

La precisión adicional que agrega el tráfico controlado debería permitir que los residuos de los cultivos, si fuera necesario, sean manipulados y colocados con mayor cuidado. Por ejemplo, la tendencia a usar equipos más anchos ya está generando el diseño de métodos más seguros de colocación de los residuos por las cosechadoras. Al trabajar en rutas permanentes creadas como parte de la planificación del campo y donde las futuras líneas de siembra están predeterminadas, los residuos podrían ser colocados específicamente de modo que se evitan los surcos de los nuevos cultivos.

Con los sistemas de tráfico sin ordenar, los residuos de los cultivos son aplastados en forma arbitraria, lo que da lugar a una orientación variable para el futuro trabajo de los abresurcos. Algunos abresurcos no trabajan bien en estas condiciones mientras que otros no solo son eficientes sino que utilizan los residuos desordenados para controlar el microambiente de las semillas. El tráfico controlado evita el pisoteo desordenado de los residuos por parte del ganado y está asociado con su variabilidad. Es posible, por ejemplo, desarrollar sistemas donde se arrancan los granos de las espigas de cereales que han quedado en pie después del paso de la cosechadora. Métodos manuales y mecánicos podrían permitir la siembra entre los surcos de la paja de cereales en pie y en el suelo que puede tener una cobertura de la parte liviana de la paja (Lámina 116).

En los suelos sin tráfico habrá efectos adicionales sobre los residuos causados por una mayor actividad de las lombrices de tierra. Radford *et al.* (2001) registraron un incremento en el número de las lombrices de tierra de 2 a 41/m² cuando en un vertisol se evitó todo tipo de compactación. Pagnakorn *et al.* (2003) encontraron una diferencia favorable del 26 por ciento en el número de lombrices de tierra en un suelo sin labrar comparadas



Lámina 116 Condiciones del suelo y de los residuos después de arrancar las espigas. Los sistemas GPS y otros métodos precisos de guía permiten que la siembra ocurra entre los surcos en un régimen de tráfico controlado.

con suelos cultivados; además hubo un 14 por ciento adicional de incremento cuando el tráfico fue eliminado.

La compactación limita el abastecimiento de oxígeno, la absorción de nutrientes y el movimiento físico. Si bien el efecto de la mayor actividad de las lombrices de tierra es improbable que tenga un efecto directo sobre las operaciones de siembra en lo que se refiere a los residuos, la situación opuesta a menudo es verdadera. Los residuos favorecen a las lombrices de tierra y a la vez pueden mejorar la emergencia de las plántulas, especialmente en los suelos húmedos, en primer lugar gracias a un mejoramiento de la porosidad (Chaudry y Baker, 1988; Giles, 1994).

Considerando que hay un incremento de los niveles de CO₂ en la atmósfera y que es probable que este escenario continúe, también es probable que los residuos de los cultivos y las malezas y los rendimientos de los cultivos aumenten (Prior *et al.*, 2003). Por lo tanto, el mejor manejo de los residuos será cada vez de mayor importancia, no solo para manejar la gran cantidad de los mismos sino también para evitar un bloqueo temporal de los nutrientes y una excesiva acidez a largo plazo en las capas superficiales del suelo. Este tema aún debe ser estudiado más adecuadamente.

CONTROL DE MALEZAS. Los sistemas tradicionales de cultivo utilizan una combinación de métodos de labranza, culturales y con agroquímicos para llevar a cabo el control de malezas. Las malezas siempre son un problema serio para la sostenibilidad de la agricultura y evolucionan continuamente para escapar a cualquier método de control. El ejemplo más reciente de esta resistencia ocurre en el caso del *Lolium rigidum* resistente al glifosato (Wakelin *et al.*, 2004). Por lo tanto, es posible sostener que reducir las opciones de control de malezas es una operación arriesgada. Sin embargo, también hay aspectos positivos, algunos de los cuales son ayudados por el tráfico controlado, el más importante de los cuales es minimizar el disturbio del suelo.

Hay varios enfoques que mejoran el control de malezas sin labranza. Uno de los pocos objetivos defendibles de la labranza es estimular la germinación de las semillas de las malezas de modo que las plántulas emergentes puedan ser combatidas en una operación subsiguiente de control. En ausencia de dicho estímulo, la práctica más difundida de control de malezas es aplicar herbicidas en toda la superficie, ya sea con herbicidas selectivos o no selectivos. El control del tráfico hace que esta operación sea más eficiente porque es probable que germine una mayor proporción de las semillas de malezas durante el período entre los cultivos. Las semillas que quedan

sobre una superficie friable del suelo es probable que germinen al estar en íntimo contacto con el suelo o al enterrarse por sus propios medios (por ej., *Avena fatua*) o por fuerzas externas tales como la lluvia, las heladas, el viento o la actividad de la fauna del suelo. Después de la aplicación de herbicidas, el objetivo es evitar cualquier germinación posterior de las semillas y para ello es fundamental la minimización del disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero.

Este enfoque ha sido efectivo en Nueva Zelanda. Algunas malezas de difícil control como el rábano han forzado a numerosos agricultores a suspender el cultivo de otras crucíferas en razón de la dificultad de controlar sus plantas espontáneas cuyas semillas pueden sobrevivir latentes más de 40 años en un suelo sin disturbar. Incluso los mejores abresurcos para labranza cero a menudo disturban el suelo suficiente dentro de los surcos como para crear condiciones favorables para las malezas donde estas no existían antes de la siembra. Sin embargo, el uso de la versión de discos de los abresurcos de ala para labranza cero o los abresurcos de doble disco minimizan el disturbio de la superficie y evitan el problema.

Después de la siembra puede ser posible utilizar la precisión de la zona de tráfico controlado para controlar las malezas que germinan en la zona de los entresurcos en función de su propia actividad (como se ha señalado líneas arriba) o facilitadas por la labranza superficial con implementos livianos entre los surcos. La aplicación de llamas, vapor, corte y herbicidas no selectivos puede realizarse cuando hay suficiente espacio entre los surcos. Los métodos de guía visual actualmente disponibles permiten hacer esta operación en forma rápida y confiable.

Es probable que la eficiencia de las barras aspersoras sea mejorada con la aplicación de los sistemas de tráfico controlado. La mayoría de estos sistemas usan mayores anchos de trocha y se puede anticipar que en el futuro el

apoyo para las barras aspersoras podrá ser aún mayor, incluso más alejado del centro de la barra. La mayor estabilidad reduce el balanceo y permite que la barra sea colocada más cerca del cultivo o la tierra sin temer el contacto con la misma. Los sistemas de guía automática generalmente asociados a los sistemas de tráfico controlado también reducen las desviaciones de la barra, una característica asociada a la corrección manual de la dirección. La reducción del balanceo y de las desviaciones mejoran la seguridad de la aplicación y disminuyen el riesgo de deriva del herbicida.

DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LOS ABRESURCOS. Las principales implicaciones del tráfico controlado para el diseño de abresurcos para labranza cero comprenden la reducción general de la resistencia del suelo en ausencia de la compactación inducida por el paso de vehículos. Esto reduce las fuerzas de penetración y de arrastre requeridas entre áreas transitadas y no transitadas. Chamen *et al.* (1990) encontraron que un abresurco de triple disco comprimido por un rodillo acolchado en un suelo sin tráfico en labranza cero penetró en forma excesivamente profunda. Una solución fue usar el abresurcos tradicional de un solo disco diseñado para los suelos cultivados. Esto significa que la siembra en labranza cero en suelos sin tráfico puede ser hecha con equipos significativamente más livianos y menos robustos.

Los suelos sin tráfico tienden a presentar una cama de semillas más friable sin consideración del régimen de humedad del suelo. Esto puede tener aspectos positivos o negativos. Los aspectos positivos son obvios e importantes pero el entretrejido de los residuos causado por los discos puede ser un problema mayor con el tráfico controlado porque hay menos resistencia del suelo al corte vertical de los residuos. Otras opciones incluyen el manejo de los residuos para evitar su presencia en la línea de siembra (Lámina 116) y el

uso de abresurcos que no entretrejen los residuos o que deliberadamente separan la semilla del contacto con los residuos entretrejidos. La versión de disco de un abresurco de ala coloca las semillas en cualquier lado del entretrejido que pueda crear el disco central y elimina este problema. Cuanto más friable es la naturaleza del suelo bajo el sistema de tráfico controlado, más duradero será el efecto neutral de entretrejido con este abresurcos.

Las rastras de dientes cercanos colocados a cierta distancia trabajan bien en condiciones secas pero son inaceptables en suelos húmedos ya que dejan grandes brechas con residuos ya que los dientes pueden evitarlos (Capítulo 10). Las sembradoras a golpes son aceptables siempre que pueda ser evitado el entretrejido, pero su potencial ha sido limitado por la alta resistencia de los suelos con tráfico. Los mayores problemas se encuentran en las arcillas húmedas cuando el suelo fino y los residuos se adhieren a todo el abresurcos. La experiencia en estas condiciones en tráfico controlado es aún limitada y es necesario el desarrollo de abresurcos adecuados y su posterior uso.

En general, la estructura más friable de las camas de semillas asociada con el tráfico controlado debería asegurar que los aparatos para comprimir los abresurcos trabajan más eficientemente. Tal como ha sido sugerido por Baker y Mai (1982b) y Addae *et al.* (1991), la compresión debería ocurrir alrededor o debajo de la semilla, no encima de esta. Con el tráfico controlado es probable que se presente al abresurcos un suelo más homogéneo y habrá, por lo tanto, menos necesidad de ajustar la profundidad entre los distintos abresurcos y menos variación en la cobertura de la semilla. También habrá menos desgaste, menos arrastre general y menor demanda de potencia y tracción.

La Lámina 117 muestra cómo dos abresurcos de disco en la misma máquina pueden ofrecer resultados muy diferentes, dependiendo de si están ubicados detrás de las ruedas o entre

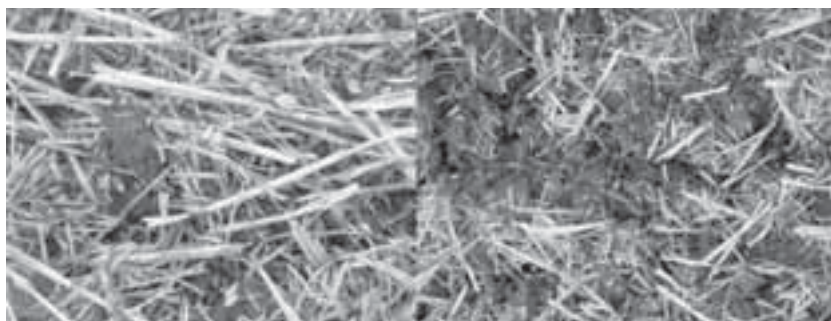


Lámina 117 Comportamiento de dos abresurcos adyacentes que trabajan en la misma sembradora en un suelo arcilloso húmedo. A la izquierda, el abresurco estaba detrás de las ruedas del tractor y las semillas son claramente visibles sobre la superficie. A la derecha, el abresurco operaba correctamente en un suelo menos compactado.

las mismas. En ausencia de huellas diferenciales de las ruedas, la superficie del suelo también será más uniforme. Esto reduce el potencial para que ocurran diferencias en el comportamiento de los abresurcos, especialmente cuando están montados en grupos. Los abresurcos montados individualmente en uniones paralelas serán menos favorables a variaciones de profundidad cuando se encuentran las huellas de las ruedas, pero una superficie más nivelada tendrá siempre una influencia positiva en su comportamiento.

Una profundidad de siembra uniforme es fundamental para evitar una siembra excesivamente superficial en condiciones secas, o demasiado profunda en otras condiciones. Kirby (1993) observó que el momento de la emergencia se extendió a medida que la profundidad de siembra aumentaba. Heege (1993) encontró que dentro del rango de profundidad de siembra de los cereales de 25 a 45 mm, la emergencia en el campo cayó el 82 por ciento cuando la profundidad varió cerca de 6 mm y al 50 por ciento cuando la variación se incrementó a 20 mm. Heege y Kirby encontraron que la tasa de emergencia afectó el crecimiento posterior, tal como informó Benjamin (1990). Todos los investigadores sugirieron que las diferencias en la fecha de emergencia

fueron perpetuadas e incluso exacerbadas en el crecimiento posterior. Si bien estas diferencias pueden no ser suficientemente importantes para crear diferencias en el rendimiento, hacen más difícil estimar la etapa de crecimiento adecuada para los tratamientos con pesticidas. Además, esto significa que una mayor proporción del cultivo será tratada en el momento inadecuado y como resultado sufrirá mayores perjuicios.

En resumen, la menor diferencia en resistencia del suelo y una mejor nivelación de la superficie contribuirán a hacer que la siembra sea más uniforme. Esto minimiza el momento de la emergencia del cultivo y hace que el manejo posterior sea más simple y efectivo.

Las implicancias del tráfico controlado para los suelos y los cultivos

AGRONOMÍA. Siempre que los suelos severamente compactados sean aflojados antes de introducir el sistema de tráfico controlado, es probable que el problema del crecimiento inicial pobre del cultivo y la pérdida de nitrógeno por denitrificación sean reducidas, especialmente en los primeros años de la labranza cero. El mejor crecimiento inicial será promovido por la falta de una capa de suelo compactado que

favorece el crecimiento de las raíces que exploran y extraen nutrientes de una mayor proporción del perfil del suelo.

Los agricultores australianos han encontrado que el cultivo en surcos es una extensión natural del tráfico controlado. Esto es posible porque la posición de cada surco del cultivo puede ser planificada con antelación y obtenida en la práctica con guías de precisión.

En la labranza cero, la densidad de semillas es a menudo ligeramente mayor, si bien las densidades de siembra de varios cultivos se han reducido realmente con los abresurcos más avanzados para labranza cero (Baker *et al.*, 2001). El sistema de tráfico controlado hace que la siembra sea más confiable y favorece la disminución de la densidad de siembra porque la superficie está más nivelada y hay menos compactación en el ancho de la sembradora. Sin compactación, muchos suelos forman una capa fina estable de tierra desmenuzada que acepta fácilmente las semillas con un disturbio mínimo. Esto hace que la regulación de la sembradora sea más fácil, reduce las irregularidades en su comportamiento y evita la necesidad de un mayor «seguro» de la densidad de siembra de las semillas.

Un agricultor que aplica labranza cero en el Reino Unido (Hollbrook, 1995) encontró que la cebada de primavera sembrada a 3-4 mm de profundidad era más sana que el cultivo sembrado a 40-50 mm. La siembra más superficial dio lugar a que el primer nudo emergió del coleoptile cuando este estaba 20-30 mm por encima de la tierra y no en su superficie. Esto evitó la incidencia de enfermedades (*Cercospora* sp.) y la posterior debilidad de la paja que después daba lugar al vuelco del cultivo.

Las babosas (*Deroceras reticulatum*) han sido un problema frecuente en los sistemas de cultivo que retienen los residuos en la superficie y especialmente en las camas de semillas con terrones y ranuras de siembra abiertas y pegajosas (Moens, 1989). Las babosas atacan los cultivos en dos formas: debajo de la super-

ficie, donde comen las semillas y sobre la superficie, donde comen las hojas jóvenes. Los abresurcos que producen terrones pequeños favorecen el acceso de las babosas a las semillas, mientras que las líneas de siembra pegajosas o abiertas les permiten moverse sin obstáculos de una semilla a otra. El sistema de tráfico controlado tiene el potencial para corregir estos problemas porque evita la formación de terrones y las líneas de siembra pegajosas.

RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS. La mayor parte de la investigación que compara los suelos con tráfico con los suelos sin tráfico ha sido hecha en sistemas que usan la labranza; sin embargo, trabajos hechos en Escocia con labranza cero encontraron que, aun con cargas muy modestas, los rendimientos en labranza cero se reducían. Esto ocurrió en los primeros años de la labranza cero, pero no se encontraron diferencias en la cuarta estación a pesar de que no hubo una reducción real en las zonas de suelo con tráfico (Campbell *et al.*, 1986). En los Estados Unidos de América y en Argentina, los rendimientos de la soja en los sistemas de labranza cero se redujeron entre un 10 y un 39 por ciento con cargas livianas pero reiteradas de las ruedas. Aun cuando la labranza cero se había hecho durante siete años, fue posible reducir los rendimientos como resultado de nuevas cargas (Flowers y Lal, 1986; Botta *et al.*, 2004).

RANGO DE CULTIVOS. Si bien hasta ahora se han citado primeramente casos de cultivos de granos pequeños, la introducción del tráfico controlado debería hacer posible el cultivo de un amplio rango de cultivos bajo la labranza cero. Por ejemplo, el establecimiento de cultivos de algodón bajo labranza cero ha sido exitosa aun en presencia de suelos compactados por las ruedas. Los rendimientos de fibra bajo labranza cero se redujeron solamente un año cada tres, mientras que los cultivos transplantados como los tomates, si bien con labranza en fajas, fueron comparables en dos sitios en el año

2002. La labranza en fajas del cultivo de melones dio rendimientos apenas más bajos que con los métodos tradicionales pero en ambos casos, con melones y tomates, las condiciones del suelo con terrones en el momento de la siembra/transplante fueron parcialmente responsables de los menores rendimientos. Un productor australiano de tomates, calabacines, melones, cebollas y brócoli predijo que el tráfico controlado le permitiría establecer esos cultivos bajo labranza cero. Las papas también han sido cultivadas exitosamente con coberturas espesas y labranza cero (Lamarca, 1998; Mitchell *et al.*, 2004a, b; Ziebarth, 2003, comunicación personal).

Las posibles limitaciones de la agricultura dentro de un sistema de labranza cero con tráfico controlado tienen varios orígenes:

- estructura del suelo/interacciones de los cultivos;
- inexperiencia y percepción;
- maquinaria.

Dado que los suelos completamente sin tráfico han sido prácticamente desconocidos en los sistemas de producción en los últimos tiempos es difícil predecir cómo algunos cultivos podrían reaccionar a esas condiciones de labranza cero. Del mismo modo, hay pocos datos que puedan ser usados para determinar si cultivos como zanahorias, remolacha azucarera y papas podrían comportarse adecuadamente en suelos sin tráfico y bajo labranza cero.

La única forma en que esto podría ser determinado es por medio de comparaciones de diversos parámetros del suelo tales como la densidad, la resistencia a la penetración y la porosidad. Por ejemplo, ¿la densidad de un suelo sin tráfico en labranza cero excede a la de un suelo similar cultivado con un cultivo específico? Además, ¿dentro de qué ambiente de un suelo un cultivo de raíces tendrá un comportamiento igual al de otros cultivos? Muchas de estas preguntas no tienen respuesta. Es necesario tener presente, además, que

la cosecha de cultivos de raíces causa un considerable disturbio del suelo. Si bien esto interrumpe, por lo menos parcialmente, el ciclo de la labranza cero, sería ventajoso para el resto de la rotación y para el establecimiento del cultivo de raíces. El tráfico controlado también podría minimizar las reparaciones necesarias después de la cosecha y asegurar un rápido y efectivo retorno a la labranza cero.

Los cultivos que probablemente se puedan cultivar actualmente bajo un régimen de tráfico controlado demostrados por pruebas agronómicas y basados en labranza cero incluyen:

- trigo
- cebada
- centeno
- avena
- mijo
- sorgo
- maíz
- rábano aceitero
- arvejas secas
- soja
- lino oleaginoso
- frijoles
- algodón
- arroz de secano

Esta lista es necesariamente limitada y son necesarios otros desarrollos tecnológicos y experimentos de campo antes de que puedan ser considerados otros cultivos. Sin embargo, dadas las características de esos cultivos y las condiciones climáticas típicas bajo las cuales han sido exitosos, sería bastante racional extrapolarlo a otros cultivos y climas en lugares en los cuales el tráfico controlado bajo labranza cero no sido extensivamente difundido.

Implementación del tráfico controlado

Principios básicos

Hay varios principios básicos involucrados en los sistemas con tráfico controlado:

1. Planificación anticipada.
2. Uniformización del ancho de las trochas de los vehículos.

3. Uniformización del ancho de los implementos, simples o múltiples.
4. Disciplina.

Estos principios serán desarrollados en las secciones siguientes pero se pueden encontrar mayores detalles en *Tramline Farming Systems* publicado por el Departamento de Agricultura, Western Australia (Webb *et al.*, 2000) junto con la Corporación de Investigación y Desarrollo de Granos de Australia.

Planificación anticipada y uniformización de la maquinaria

La planificación es probablemente el aspecto más importante de la conversión al sistema de tráfico controlado ya que esto asegura, entre otras cosas, que el costo se mantiene a un nivel mínimo. Algunas fincas pueden convertirse en un plazo de 12 meses; otras pueden requerir planificación y cambios a lo largo de varios años. Dentro del contexto de este libro, se asume que el punto de transición es el establecimiento de un sistema de labranza cero, pero el punto de partida podría ser arar con arado de vertedera, labranza secundaria y siembra. Por lo tanto, debe haber un compromiso inicial para un sistema que tiene significativamente menos insumos. En alguna forma, el cambio de un sistema extensivo de maquinaria hace que la economía sea más simple ya que el exceso de maquinaria puede ser vendido y sustituido por equipos nuevos o usados con la medida adecuada, probablemente con poco costo adicional. Esto también acarrea una reducción del trabajo. La economía, sin embargo, será dominada por el cambio de labranza convencional a labranza cero antes que por el tráfico controlado. Si ya se aplica un sistema de labranza mínima o de labranza cero, la transición podrá requerir una planificación más cuidadosa y en plazos mayores ya que se perderán los menores costos del sistema en vigencia y el retorno deberá aún ser mejorado.

Proceso de uniformización del ancho de los equipos

El objetivo es la uniformización por un lado del ancho de trabajo de todos los equipos y, por otro lado, de las huellas de las máquinas. El objetivo es minimizar los costos y el número de huellas de las ruedas por unidad de superficie. El factor costo significa que la mayoría de las transiciones se iniciarán con el examen del equipo existente a fin de considerar su posible adaptación. Por ejemplo, una pequeña finca que cultiva granos con un sistema de labranza mínima tiene un cultivador de 3,5 m de ancho, un rodillo de 5 m y una sembradora de 3 m; la cosechadora de cereales tiene 6,1 m de ancho y los agroquímicos se aplican con un aspersor con una barra de 12 m. Los tractores tienen una trocha variable entre 1,5 y 1,8 m y los remolques tienen una trocha de cerca de 1,8 m; la cosechadora es de 2,8 m. De hecho, ningún equipo se uniformiza con los otros para el tráfico controlado (Figura 43, izquierda). Sin embargo, las ruedas del tractor pueden ser fácilmente cambiadas a 1,8 m para uniformizarlas con las ruedas de los remolques.

Sin embargo, hay aún dos problemas a solucionar: el ancho de la trocha de la cosechadora y el ancho de la sembradora para labranza cero. Si se conserva la cosechadora de 6,1 m, la sembradora debería ser de 6 m de ancho para asegurar que la cosechadora recoja siempre todo el cultivo; el costo de esta última deberá ser presupuestado, considerando el valor de segunda mano de la sembradora existente, del cultivador y de los rodillos (la economía del tráfico controlado será estudiada en otro capítulo posterior). También puede ser posible vender un tractor, pero uno de los tractores remanentes debe ser capaz de arrastrar la nueva sembradora propuesta o, de lo contrario, se deberá adquirir un tractor de mayor potencia.

El ancho de la trocha de la cosechadora no puede ser cambiado fácilmente y esas ruedas

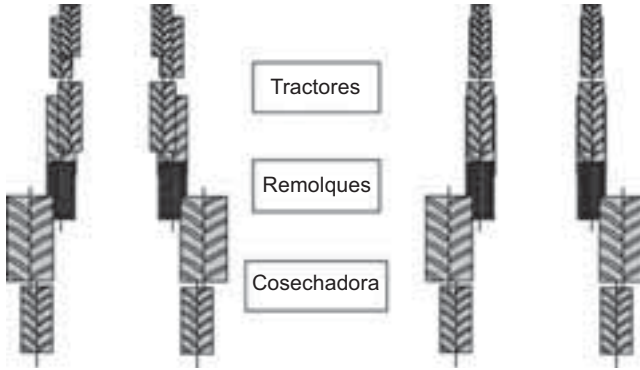


Figura 43 Colocando todos los equipos alrededor de una línea central común, solo la cosechadora tiene un ancho de trocha significativamente diferente. La posibilidad de regulación del ancho de las ruedas de los tractores permite su alineación con los remolques con el único costo adicional del trabajo necesario para realizarlo.

serán el conjunto que se extiende fuera del ancho primario de la huella. Su posición, sin embargo, es conocida y no causan necesariamente daños todos los años porque los suelos en esa época a menudo están secos y, por lo tanto, son capaces de resistir más peso. Si hubiera compactación y marcas superficiales de las huellas, estas pueden ser reparadas con un subsolador con los dientes colocados de modo tal que aflojen solo el ancho adicional impuesto por la cosechadora. Un sistema de 6 m como el descrito crea huellas que cubren alrededor del 16 por ciento del área, dependiendo del ancho de los neumáticos usados. Siempre que las huellas estén bien conservadas es posible que, en el futuro, se pueda reducir su ancho.

En una finca grande una alternativa podría ser usar un sistema de tráfico controlado de

doble huella. Esto elimina en gran parte el problema de la cosechadora y mantiene el ancho de las trochas en forma más o menos estándar. La Figura 44 muestra que el sistema trabaja con la cosechadora que pasa por encima de las huellas primarias. El ancho primario de los implementos se determina por la simple adición del ancho de las trochas comunes de los tractores, remolques y del equipo de aplicación de pesticidas. En el ejemplo anterior, el ancho primario de los implementos sería: $1,8 + 2,8 = 4,6$ m. El ancho de la barra de corte de la cosechadora puede ser cualquier múltiplo de esta cifra; en este caso la medida más práctica sería 4,6 ó 9,2 m. Sin embargo, el ancho de la sembradora puede ser de múltiplos impares del ancho primario de los implementos y esto probablemente lo limita a un múltiplo simple. Las aplicaciones de pesticidas

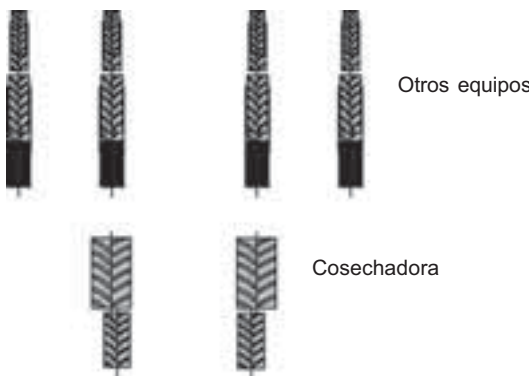


Figura 44 Sistema de doble huella para tráfico controlado donde la cosechadora se superpone a las huellas adyacentes de los tractores. El ancho del implemento primario es determinado por la suma de los anchos de las huellas del tractor y la cosechadora.

pueden hacerse con equipos con cualquier múltiplo del equipo primario si se usan las huellas primarias, por ejemplo, 4,6 m, 9,2 m, etc. Si el equipo de aplicación de pesticidas está montado sobre un eje ancho y corre sobre las huellas de la cosechadora (para mejorar la estabilidad del aspersor), el ancho del equipo de aplicación de pesticidas puede ser solo de múltiplos pares del ancho de los implementos primarios.

Actualmente ninguno de los anchos de los implementos citados anteriormente es parte de equipos estándar, por lo que es necesario algún ajuste para obtener el ancho primario de huella, incluso en el sistema de doble huella. Por ejemplo, si la huella primaria fuera reducida a 1,7 m esto se debería corresponder con el ancho de las cosechadoras actualmente disponibles (9 m) y con los equipos de aplicación de pesticidas (18 m, 27 m, 36 m). O bien, la regulación de las huellas podría ser a 2 m y 3 m con un implemento primario de 5 m. La barra de corte de la cosechadora debería ser ligeramente más ancha que el ancho calculado para asegurar la recolección de todas las plantas del cultivo en todos los casos.

Otro método para uniformizar la maquinaria es alinearla en el mismo ancho de las huellas de la cosechadora, porque como se ha mencionado anteriormente es difícil alterar

esta máquina. Lamentablemente, la cosechadora es la máquina con la trocha más ancha, y con los modelos actuales esto significa un ancho primario de trocha de cerca de 3 m para todos los vehículos e implementos. Esto es común en Australia (Lámina 118) donde puede haber menos necesidad de conducir en carreteras y donde las áreas rurales tienen relativamente baja densidad de población. En Europa y otras regiones con alta densidad de población y frecuentemente con carreteras angostas, es probable que surjan mayores dificultades. Sin embargo, dado que la labranza cero reduce el número de operaciones de campo y que los vehículos para aspersiones podrán tener anchos de trocha fácilmente variables, la magnitud del problema debería disminuir considerablemente. Probablemente, solo la cosechadora y la sembradora tengan una trocha de 3 m cuando circulan en las carreteras. La ventaja de este sistema es que hay pocas limitaciones relacionadas con el ancho primario de los implementos. Con máquinas muy anchas pueden ser necesarios algunos ajustes para extender el sinfín de descarga a fin de asegurar que la unidad de transporte pueda circular en la senda adyacente.

Para las fincas pequeñas, otra alternativa similar a la doble huella se refiere a la distancia de las cosechadoras entre las ruedas similares



Lámina 118 Ejemplo de un sistema australiano de módulo primario de 9 m y de una trocha primaria de 3 m de ancho (Webb *et al.*, 2000).

de los pases adyacentes del tractor como se muestra en la Figura 45. Esto se basa en:

Ancho del implemento primario =
 ancho de la trocha de la cosechadora
 Ancho de la trocha primaria =
 ancho de la trocha de la cosechadora/2
 Ancho de corte de la cosechadora =
 ancho de la trocha de la cosechadora \times 1,5
 Ancho del equipo de aplicación de pesticidas =
 cualquier múltiplo del ancho
 del implemento primario

Este sistema introduce potencialmente un gran número de trochas pero algunas de estas podrían ser usadas una sola vez al año, para la siembra, y la mayoría pueden ser sembradas como se describe más adelante.

Hasta ahora se han analizado en primer lugar los sistemas usados para la producción de cereales, pero los principios de labranza cero pueden ser igualmente aplicados a la mayoría de los otros cultivos. Si bien hay escasa investigación sobre la labranza cero para el cultivo de hortalizas, existe un serio potencial dentro de los sistemas de tráfico controlado, tal como se presenta más adelante.

Diseño del campo y manejo del sistema

La orientación y el diseño de las huellas para el tráfico controlado son parte del proceso de planificación y cada área o conjunto de parcelas debe ser considerado independientemente. Los mapas detallados del campo son parte fundamental de esta planificación ya sea por sus mediciones, registros históricos o fotografías aéreas. Los datos topográficos también son de valor, especialmente en el caso de fincas con laderas pronunciadas. Los cambios en el tipo de suelo dentro de una propiedad son probablemente de menor importancia que con los sistemas de tráfico incontrolado pero aun así son útiles para conocer esos parámetros, especialmente respecto al drenaje. Respecto a este último elemento en especial, es fundamental que cualquier sistema de drenaje esté operando correctamente o, que si presenta problemas, estos sean corregidos antes de instalar el sistema de tráfico controlado. Esto también es importante para mejorar la estructura del suelo. Si se encontrara un problema de piso de arado, el perfil debería ser abierto de acuerdo

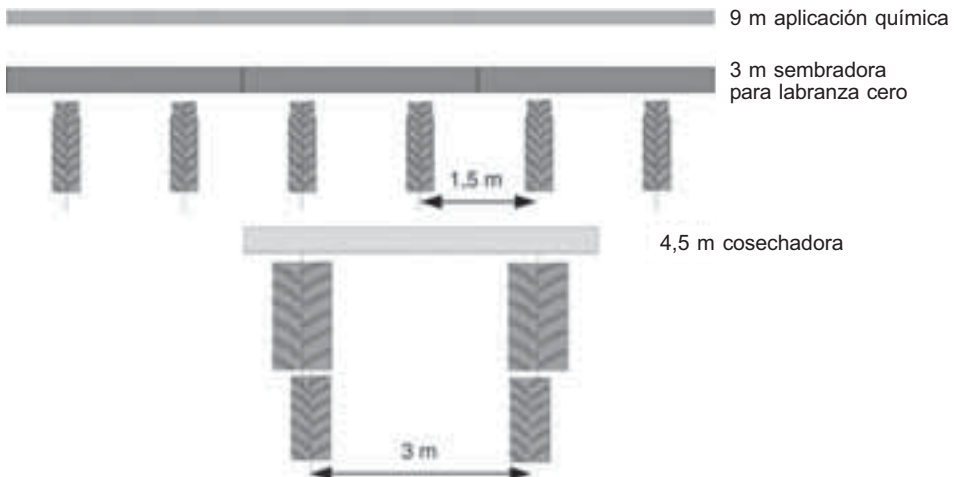


Figura 45 Sistema de tráfico controlado para la maquinaria en una finca pequeña. La trocha primaria de 1,5 m de ancho está espaciada a intervalos de 1,5 m y de esta manera cualquier par de ruedas puede ser usado por todo el equipo, excepto la cosechadora.

a las indicaciones sugeridas por Spoor *et al.* (2003).

Los principales aspectos a considerar en el diseño de un sistema de tráfico controlado son:

- Orientación de los caminos permanentes en relación a:
 - largo del camino
 - pendiente y movimiento del agua
 - forma del campo y surcos cortos
 - objetos extraños (árboles, estanques, etc.)
 - sistema de drenaje del campo
- Manejo de los caminos y acceso al campo

Orientación de los caminos permanentes

En muchas situaciones la mayor longitud del área considerada es elegida como orientación porque esto mejora la eficiencia del trabajo de campo al reducir el número de giros al final de la parcela. La longitud de la carrera que esto crea también debe ser considerada respecto a cualquier pendiente significativa del terreno. Si bien es probable que la infiltración de agua en el suelo mejore significativamente en comparación con los predios manejados en forma tradicional, el agua tiende a correr a lo largo de los caminos y a erosionarlos, especialmente si hay largas distancias en forma ininterrumpida y están orientados hacia arriba y abajo de las pendientes. En Australia, donde el tráfico controlado está ampliamente difundido y donde los eventos de lluvias pueden ser violentos, las operaciones de orientación son más flexibles con el sistema de tráfico controlado. En este sistema funcionan los diseños hacia arriba y abajo o perpendiculares a las laderas, mientras que con el tráfico sin controlar predominan los diseños perpendiculares o en contorno.

La orientación del tráfico controlado también debe considerar la presencia del sistema de drenaje y especialmente de aquellos que involucran drenes topo. Estos últimos corren

predominantemente hacia arriba y abajo de las laderas y el objetivo con el sistema de tráfico controlado es hacerlos paralelos a las laderas. El peligro con los cruces reiterados de caminos y los drenes topo es que se pueden romper prematuramente. Correr en forma paralela a los drenes topo significa cruzar los drenes, si bien es improbable que estos sean dañados, en parte debido a su profundidad pero además porque a menudo están rellenos con grava. Si los caminos corren paralelos a los drenes topo existe el peligro de que algunos coincidan con los mismos y los puedan dañar, pero, en general, el efecto sobre el sistema de drenaje dentro de un campo es insignificante. Al correr en forma paralela también se asegura que los drenes topo pueden ser eventualmente reconstruidos sin interrupción de los caminos. Más información sobre los sistemas de drenaje se encuentra en Spoor (1994).

Un enfoque similar se adopta con las torres o postes dentro del campo; en este caso pueden ser usados para orientación y como una línea para establecer el primer camino. En el caso desafortunado de que una finca tenga el sistema de drenaje y la línea de torres en diferente orientación se prefiere seguir la orientación de las torres. La experiencia con otros sistemas de drenaje o infraestructura de campo es limitado porque el tráfico controlado aún debe ser adoptado en áreas en que esas situaciones ocurren repetidamente.

Manejo de los caminos

El potencial que pueden tener los caminos para favorecer la erosión puede ser contrarrestado de varias formas. Como principio básico, los caminos deben tener un manejo activo desde su establecimiento; no se puede permitir que se hundan o formen surcos en forma diferente. Deberían ser rellenos adecuadamente con tierra de la zona vecina, especialmente los caminos nuevos y si el suelo es algo suelto. Dentro de un régimen de

labranza convencional estas recomendaciones pueden ser aplicadas durante la creación de falsas camas de semillas para el control de malezas. Sin embargo, en el contexto de la labranza cero si se forman huellas profundas o si las ruedas producen un flujo de suelo plástico podría ser usada una unidad pequeña (Lámina 119). Este implemento no debería ser usado con frecuencia ya que se pueden redondear los bordes de la tierra cultivada y generar una profundidad no uniforme de siembra.

Si la presión de las malezas o la erosión sobre el suelo desnudo son inaceptables o debido a limitaciones de la maquinaria los caminos toman un alto porcentaje del área, es posible sembrar dentro de los mismos (en general, esto se aplica solamente a los casos en que esos caminos no serán usados después de la siembra del cultivo). Las raíces de las plantas establecidas en esos caminos a menudo exploran el suelo en forma lateral y llegan al suelo del cultivo. Como resultado, y si bien esas plantas pueden rendir algo menos, maduran al mismo tiempo del cultivo y contribuyen a la cosecha total. Esto no es lo que ocurre cuando se siembran en caminos que

posteriormente son usados para el cultivo; en estos las plantas a menudo quedan enanas a causa del repetido pasaje de vehículos y retrasan su madurez. Cuando los caminos se siembran con un cultivo de surcos angostos (300 mm o menos) el espacio entre surcos puede ser ligeramente alterado como se ilustra en la Figura 46. Los abresurcos deberán ser regulados muy específicamente para enfrentar esta situación y el desgaste será algo más alto. Hasta ahora existe una limitada experiencia con esta técnica y los agricultores deberán hacer alguna experimentación previa; sin embargo, esta técnica tiene la ventaja de marcar temporariamente las huellas.

En algunos casos, un manejo activo de los caminos podría ser necesario en las laderas para asegurar que el agua recogida al borde de los mismos no alcance un potencial erosivo. Esto se obtiene haciendo canales diagonales a intervalos regulares que desvían el agua fuera de los caminos.

El segundo principio del manejo de los caminos es evitar que el agua se estanque o que fluya a lo largo de los mismos. El primer problema puede, en gran medida, ser evitado con



Lámina 119 Herramienta rotatoria para mantenimiento usada para manejar el flujo de suelos plásticos causado por las ruedas. Normalmente, no debería ser usada más de un vez por año (J. Grant, 2001, comunicación personal).

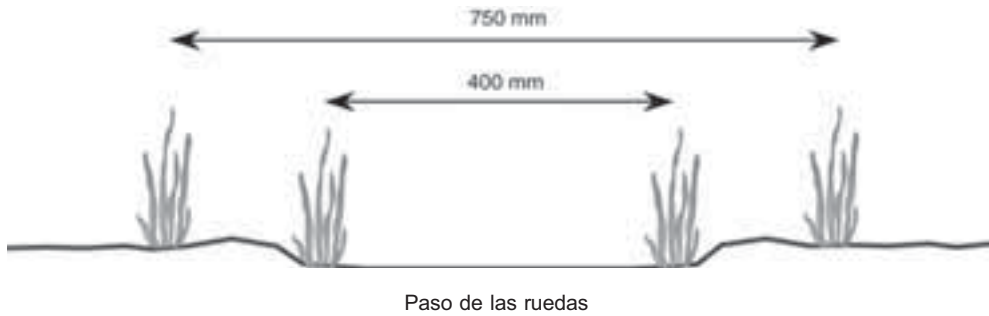


Figura 46 Ejemplo de como un cultivo de cereales podría ser sembrado en un camino. El espacio nominal de 250 mm es modificado a 400/175 mm para favorecer el acceso de las raíces de las plantas en el camino a la cama de semillas adyacente.

un manejo activo, pero en los lugares bajos del campo o en áreas con un drenaje natural pobre pueden crear esta situación. La orientación debería ayudar a evitar los lugares bajos pero esto no siempre es posible; una alternativa es modificar los bordes de los caminos, como se mencionó anteriormente.

La erosión del camino puede también ser reducida por una faja tampón, a mitad de la ladera. Esta podría también proporcionar un área para insectos beneficiosos y, si está ubicada correctamente, solucionar problemas con surcos cortos.

Sistemas de guía

En cualquier sistema de tráfico controlado es fundamental contar con una forma de asegurar que los caminos no solo estén orientados correctamente, sino que también su posición sea correcta desde el inicio. Tradicionalmente, la posición correcta se ha obtenido con programas montados en las máquinas que proporcionan una línea de marcación paralela separada por la distancia requerida. El operador usa esta línea en el pase siguiente para colocar la máquina en la posición adecuada. Esto funciona bien con máquinas de ancho limitado pero cuando esta llega a 10 m o más, el

tamaño, fortaleza y duración son factores limitantes. Las cargas laterales también pueden ser un problema si el marcador se bloquea con el suelo y los costos de mantenimiento también pueden ser altos. Es aun un problema mayor bajo la labranza cero porque el marcador debe hacer una línea visible en un suelo sin labrar, a menudo cubierto por residuos. Los marcadores por lo general tienen una precisión relativamente baja e introducen errores que se acumulan de un pasaje al siguiente. Una alternativa, que lamentablemente conserva errores acumulativos, es colocar una video cámara de circuito cerrado en la extremidad del implemento con las imágenes transmitidas a una pantalla en la cabina del operador. Esto requiere que el operador observe continuamente la pantalla para mantener la maquinaria en la posición correcta como se haría sobre la línea marcada.

Una alternativa cada vez más disponible y atractiva son los sistemas electrónicos basados en el sistema diferencial de posición global (SDPG) que usa señales de satélites. Existe un amplio rango de equipos, que dependen del grado de precisión ofrecido. Con los sistemas de tráfico controlado es deseable una precisión de ± 3 cm con un error máximo de ± 5 cm, si están planeadas operaciones de cultivos en surcos anchos. Tales sistemas también pueden

ser acoplados directamente a la dirección del vehículo para proporcionar la capacidad de conducción automática, tanto en línea recta como en huellas curvas paralelas. La conducción automática permite que los conductores se concentren en la operación del implemento y se liberen del estrés de conducir sobre una marca; además, evita correcciones excesivas de la conducción que pueden afectar la operación de la maquinaria. Otra ventaja, especialmente con equipos anchos, es que cualquier trocha puede ser usada en cualquier secuencia ya que no depende de una marca hecha en el paso previo. Por ejemplo, los operadores pueden saltar un pase cada dos. Esto hace que los giros sean más simples con la ventaja adicional de que el trabajo del campo puede ser completado en el punto de inicio de la siembra, que es por lo general el punto de acceso al campo.

También es importante notar que los implementos fuera de la línea lateral que se encuentran en varios sistemas de guía por satélites no puede ser usado con el tráfico controlado. Esta característica compensa por un implemento que no se arrastra centralmente detrás del tractor al cambiar el tractor en los pases adyacentes. Si esto fuera usado con el sistema de tráfico controlado sacaría el equipo fuera de las huellas. Cualquier desalineamiento en el sistema de tráfico controlado debe, por lo tanto, estar físicamente relacionado con el tractor o con el implemento y esto puede crear un desafío importante en las laderas. El equipo remolcado puede requerir alguna rueda de conducción para solucionar este problema.

Economía

Hay varias formas por las cuales es posible evaluar un sistema de tráfico controlado y todas darán respuestas diferentes. Cada finca, circunstancia y gama de maquinaria será única y los cambios económicos serán muy específicos. El objetivo en este capítulo es, por lo

tanto, establecer principios y los costos/ganancias en lugar de entrar en análisis detallados de costos que proporcionan solo una hipótesis de solución. Este enfoque también se concentra en la transición de la siembra en labranza cero con tráfico sin controlar a un sistema similar pero con tráfico controlado.

La economía se centra en:

- costos y cronología de la planificación y transición;
- costos fijos y variables del sistema empleado;
- cambios en los resultados;
- costos del manejo.

Costos y cronología de la planificación y transición a tráfico controlado

La planificación es la clave para minimizar los costos. Aun así, el costo de la planificación es difícil de cuantificar. El costo típico de una consultoría para la conversión a tráfico controlado en Australia es de alrededor de \$EE UU 75/hora. Sin embargo, hay numerosos agricultores que estudian el problema por sí mismos y el costo de esos estudios es cargado a los gastos generales normales. De cualquier manera, se debe considerar cuidadosamente el empleo de expertos para determinar los diseños de campo más eficientes. El cambio de un diseño después de su instalación no es una alternativa simple, consume mucho tiempo y recursos y también resulta en pérdida de productividad.

El proceso de planificación involucra considerar los equipos existentes en la finca y analizar cuántos y cuáles de estos pueden ser utilizados en el nuevo régimen. Un panorama claro del nuevo régimen de cultivos y de maquinaria en un sistema de tráfico controlado debe ser claramente identificado en esta etapa, antes de que puedan ser estimados los costos de la transición. Estos costos se consideran en tres categorías: i) el cambio de implementos o

máquinas; ii) el cambio de los ajustes de las ruedas, y iii) la conducción:

1. El cambio de la maquinaria podría incluir la compra de nuevos equipos y al mismo tiempo descartar los equipos existentes. Si el cambio a labranza cero se hace al mismo tiempo que la introducción del sistema de tráfico controlado, habrá más equipos que requieran atención, pero existe la oportunidad de integrar todo el equipo, en lugar de solo una parte. Con el tráfico controlado, la siembra con labranza cero tendrá menos penetración y requerirá menos fuerza de arrastre y como resultado habrá una menor demanda de potencia del tractor, por lo que es posible que, a largo plazo, haya economías. También puede ser necesaria la centralización de la plataforma de corte de la cosechadora ya que muchas están descentralizadas para ayudar a la descarga. Otro aspecto importante que se debe considerar es la concordancia del ancho de los implementos con el ancho de las trochas de las ruedas.
2. El costo de cambio del ancho de las trochas puede variar entre \$EE UU 750 y 4 000 (Webb *et al.*, 2000) y refleja la considerable diversidad existente en diseños de las máquinas, configuraciones de los ejes y las ruedas. Este costo también varía considerablemente dependiendo del tipo o sistema adoptado, por ejemplo, huella simple o doble, como se ha descrito anteriormente. Es probable que para los sistemas de una sola huella el costo sea ligeramente mayor, ya que todo el equipo deberá ser ajustado al mayor ancho de las ruedas de la cosechadora. Actualmente, tales conversiones son posibles en algunos tractores con un costo total de los ejes anteriores y posteriores de alrededor de \$EE UU 10 000. La mayoría de los otros equipos pueden ser modificados localmente o en el taller de la finca. Para los sistemas de doble huella, los costos pueden limitarse, por ejemplo, al tra-

bajo necesario para alterar la posición de los aros en el centro o al intercambio de las ruedas de un lado a otro.

3. Los costos para los sistemas de conducción pueden limitarse al tiempo necesario para adaptar los brazos marcadores del equipo de campo existente a un sistema de satélite de autoconducción con un error medio de ± 3 cm y a un costo aproximado de \$EE UU 50 000. El mercado y, por lo tanto, el costo de la estructura para estos sistemas basados en los satélites está cambiando rápidamente y el costo total del sistema puede no ser atribuible al sistema de tráfico controlado. Muchos agricultores están adquiriendo ahora estos sistemas para la agricultura convencional como un medio de asegurar las operaciones, así como de establecer líneas de paso para la aplicación de pesticidas.

Esto último no solamente proporciona mayor flexibilidad, sino que excluye la necesidad de establecer marcas dentro del cultivo. Tradicionalmente estas han sido instaladas por equipos especiales en la sembradora que deja líneas sin sembrar a intervalos predeterminados.

Para introducir el sistema de tráfico controlado, un sistema existente debería ser mejorado de, tal vez, ± 25 cm manuales a ± 3 cm con autoconducción. El costo adicional sería de alrededor de \$EE UU 17 000.

El momento de los cambios dependerá de la inversión que ha sido calculada; cuanto mayor sea la inversión, menor deberá ser el tiempo de realización. Esto se debe a que los mayores beneficios se podrán obtener solamente cuando el sistema de tráfico controlado esté disponible. Estos beneficios se analizan en la sección sobre resultados.

Costos fijos y variables

Como costos fijos generalmente se consideran la mano de obra corriente, la maquinaria,

la renta y los gastos generales, mientras que los agroquímicos, las semillas, el combustible, el desgaste de los equipos, los contratistas y la mano de obra ocasional son considerados gastos variables (Nix, 2001). En el caso del sistema de tráfico controlado es posible esperar que el mayor impacto sea una reducción de los costos fijos y especialmente de aquellos relacionados con la mano de obra y la maquinaria. En el caso del tráfico controlado el beneficio marginal de la mano de obra será en primer lugar menor que, pero adicional, el beneficio de la mano de obra ocasional del cambio a labranza cero.

Si bien sería fácil atribuir al sistema de tráfico controlado los mejoramientos en la eficiencia de campo debido a una mejor guía, esto puede ser obtenido igualmente dentro de las prácticas convencionales usando los sistemas de las líneas de guía en las sembradoras o en la guía por satélite y, por lo tanto, no es considerado como un beneficio aportado por el sistema de tráfico controlado. El principal impacto del sistema de tráfico controlado sobre la mano de obra en el sistema de labranza cero será una reducción de la demanda durante la siembra, la cual, si las condiciones lo permiten, será algo más rápida debido a una menor fuerza de arrastre por la sembradora. Salvo cuando se emplea un contratista en esta tarea, es probable que el agricultor obtenga a corto plazo solo un beneficio de oportunidad. A largo plazo puede ser posible incrementar la tierra trabajada con una determinada fuerza de trabajo o perder algunos costos de mano de obra si se emplean varias máquinas para la siembra.

Los cambios en los costos variables se basan en ahorros en semillas, combustible y agroquímicos, todos los cuales deberían ser menores. La demanda típica de potencia para sembrar a una velocidad específica se reduce en cerca del 25 por ciento, incluida la menor resistencia a los rodillos que puede ser atribuida al trabajo en las huellas permanentes en lugar de proceder sobre la cama de semillas. Debido a las mejores condiciones del suelo

es posible sembrar a menores densidades con menos riesgo, si bien este punto también debería ser mejorado por medio de la metodología de siembra antes que confiar en el sistema de tráfico controlado. No es difícil predecir economías en el desgaste de los equipos, pero pueden aumentar si el suelo está bajo el sistema de labranza cero.

Es probable que se reduzcan los costos de los productos agroquímicos, principalmente en razón de una mayor precisión y la posibilidad de asperjar selectivamente en las bandas entre los surcos y en el surco con el cultivo. Si bien dicho sistema no es exclusivo del sistema de tráfico controlado, las huellas mantenidas ofrecen un gran potencial. Si se considera que el costo de los pesticidas protectores para el cultivo del trigo en una zona templada se acerca al 50 por ciento del costo total de semillas, fertilizantes y pulverizaciones (Nix, 2001), la economía que se haga en estos insumos tiene una incidencia importante sobre los costos. Del mismo modo, una reducción en los insumos de agroquímicos, o por lo menos de agroquímicos menos perjudiciales para el ambiente, es un beneficio adicional. También es posible presumir que los fertilizantes aplicados en el sistema de tráfico controlado serán utilizados en una forma más eficiente y, si bien esto puede no ser una economía para la finca, resultará en mejores rendimientos (debatidos más adelante) y en menores riesgos de contaminación de las corrientes de agua fuera de la finca.

Cambios en los resultados

Al revisar la investigación llevada a cabo en los últimos 30 ó 40 años sobre la compactación del suelo en 17 cultivos diferentes se encontró que los rendimientos en el sistema de tráfico controlado, tanto en suelos labrados como en labranza cero, se habían incrementado entre un 9 y un 16 por ciento, comparados con el tráfico sin controlar. Los datos más conservadores sobre sistemas de labranza

cero sugieren un nivel más modesto de mejoramiento, de alrededor del 10 por ciento. El tipo de suelo, las prácticas culturales, las rotaciones de cultivos y el porcentaje del área considerada bajo huellas permanentes obviamente moderan esos porcentajes sobre los cuales tiene influencia el espaciamiento de los surcos del cultivo. Para determinar en la práctica qué es lo que realmente sucede, cada caso debe ser considerado en forma individual; la descripción que se hace a continuación podría ser un enfoque a ser adoptado.

Si tomamos los 8 m del sistema considerado anteriormente y consideramos una hilera de cultivo sembrado en surcos estrechos, como el trigo (250 mm en este caso), podemos suponer que se aplica lo siguiente:

ancho del implemento primario = 8 m
 ancho de la trocha primaria = 3 m
 pesticidas aplicados con asperjador
 de 24 m de ancho
 se siembran dos de cada tres trochas
 primarias

Asumiendo que el rendimiento del cultivo mejora solamente en un 10 por ciento en el área sin tráfico y que la cosechadora tiene ruedas de cerca de 750 mm de ancho, el número de surcos afectados por las ruedas será de $3 \times 2 \times 4 = 24$ surcos de un total de 96. En esos surcos no habrá mejoramiento de los rendimientos y, por lo tanto, el mejoramiento neto será del 7,5 por ciento. Esta es realmente una estimación conservadora porque los sistemas convencionales por lo general tienen líneas de guía donde faltan por lo menos dos surcos cada 24 m de ancho.

Costos del manejo en el campo

Es probable que los principales costos de manejo de las operaciones en el campo estén asociados con las huellas permanentes. Como se indicó anteriormente un pequeño equipo

puede ser suficiente para esta tarea (Lámina 119), pero dentro de un régimen de labranza cero esto representa un paso adicional hecho, por lo general, después de la cosecha. La experiencia sugiere que esto puede ser necesario en los primeros años de la conversión y cuando la operación se debe hacer en condiciones húmedas. En algunos casos, esto puede ser necesario solamente en las huellas de los equipos de aplicación de pesticidas.

Resumen de los costos y ganancias

El Cuadro 32 proporciona una revisión general de los aspectos considerados en el texto anterior e intenta cuantificar un cierto número de variables. Como se señaló anteriormente, y ha sido confirmado por Uri (2000), las variables son tan numerosas que cualquier ejemplo calculado sobre los sistemas de conservación o de labranza cero proporcionará solamente una solución específica única en una situación particular. Es preferible, por lo tanto, contar con las herramientas y los procedimientos para calcular en lugar de dar una respuesta única.

La magnitud de esos costos puede ser analizada al examinar algunos de los beneficios. Un precio internacional del trigo de \$EE UU 100 y un rendimiento promedio de 4/ha incrementados en un 7,5 por ciento en 500 hectáreas producen un ingreso adicional de \$EE UU 15 000/año. A los precios del año 2001, una reducción del 20 por ciento del tamaño del tractor de 134 kW daría un ahorro de cerca de \$EE UU 17 000. El beneficio neto de estos dos elementos en 500 hectáreas sería de \$EE UU 32 000 al final del primer año.

Varios autores presentan análisis detallados en distintas regiones, a los cuales remitimos a los lectores para mayor información. Gaffney y Wilson (2003) sugieren, por ejemplo, un beneficio neto de \$EE UU 15-25/ha para el cambio al sistema de tráfico controlado dentro de un régimen de labranza cero en un

Cuadro 32 Factores y variables con impacto en la economía del cambio de un tráfico sin ordenar a un tráfico controlado en un sistema de labranza cero, su magnitud probable y el nivel después de la transición.

Factor/variable	Costo \$EE UU	Ahorros/beneficios (%)
Consultoría diseño del campo para tráfico controlado	75/h	
Precio de la sembradora (Uri, 2000)	6 400	11
Guía con sistema diferencial de posición global con ± 25 cm precisión de paso a paso ^c	2 400 ^a	
Mejoramiento de la guía del sistema diferencial de posición global de ± 25 cm a ± 3 cm precisión ^c	15 400 ^b	
Guía con sistema diferencial de posición global ± 3 cm precisión con conducción automática	5 400-10 200	
Conversiones de los ejes a 3 m:		
Tractores – por cada tractor con garantía total	750-4 000	
Sembradoras, remolques, por unidad	5 000-7 000	
Asperjadores autopropulsados con garantía total (Innecesarios si están montados en el tractor. Además, muchos vehículos norteamericanos de múltiple propósito tienen actualmente ejes de 3 m)		17-25 5 ^d
Tractor de baja potencia para arrastrar sembradora		20
Mano de obra		15
		20
Costos variables:		10
Semillas		
Combustibles	3/ha	7,5
Repuestos, elementos que trabajan en contacto con el suelo		
Agroquímicos		
Mantenimiento de las sendas		
Rendimiento de los cultivos		

Notas: ^a Costo adicional al sistema de ± 25 cm, por ej., costo total sería 6 400 + 2 400 = \$EE UU 8 800

^b Costo adicional al sistema de ± 3 cm, por ej., costo total sería 8 800 + 15 400 = \$EE UU 24 200

^c Esta opción tiene una tasa anual de corrección de la señal de \$EE UU 1 330

^d Potencia del tractor o reducción de mano de obra, no ambos. Ver «Costos fijos y variables» en el texto.

vertisol en Queensland, Australia, mientras Mason *et al.* (1995) para el mismo escenario en South Burnett, Australia sugieren un mejoramiento neto de \$EE UU 75/ha.

Resumen de la agricultura con tráfico controlado como una práctica complementaria de la labranza cero

1. La agricultura con tráfico controlado es un sistema de producción de cultivos en el
2. El sistema de tráfico controlado confía en los buenos sistemas de guías para instalar

cual la zona de cultivos y las sendas de tráfico están clara y permanentemente separadas. En la práctica esto requiere:

- a. uso de las mismas trochas en todos los vehículos para todas las operaciones de campo;
- b. todas las máquinas deben tener el mismo ajuste de ancho de ruedas;
- c. todos los implementos tienen una medida particular de ancho o múltiplo de esta.

- y mantener las huellas permanentes de las ruedas en el mismo lugar y de año en año. Los principales sistemas para lograr esto son:
- a. marcadores físicos que proporcionan un medio para posicionar el pase siguiente el cual, si está integrado con la siembra, puede ser usado para introducir surcos guía para un uso posterior;
 - b. video cámaras de televisión de circuito cerrado con una pantalla en la cabina del operador;
 - c. sistema diferencial global de posición usando satélites (SDGP);
 - d. conducción automática controlada por el sistema de guía.
3. El sistema de tráfico controlado debería liberar todo el potencial de la siembra en labranza cero al evitar el daño de la compactación del suelo en la zona del cultivo. Es probable que esto de como resultado:
 - a. mejores rendimientos de los cultivos desde el inicio;
 - b. mejor eficiencia en el uso de los nutrientes obtenida gracias a una mayor proliferación de las raíces;
 - c. mejor porosidad del suelo que proporciona mejor infiltración del agua, drenaje e intercambio gaseoso;
 - d. menor peligro de denitrificación, especialmente en la presencia de residuos orgánicos;
 - e. menor fuerza de arrastre y menor desgaste de los abresurcos;
 - f. menos mano de obra y menos consumo de combustible en las operaciones de siembra;
 - g. menor demanda de potencia para la siembra, lo que permite el uso de un tractor más pequeño para obtener el mismo resultado;
 - h. abresurcos más confiables y precisos en una mayor gama de condiciones de suelos;
 - i. potencial de un mayor rango de cultivos a ser sembrados bajo labranza cero.
 4. En otras situaciones muchas de las ventajas provendrán del cambio a labranza cero el cual reduce pero raramente elimina las ganancias adicionales a ser obtenidas con el sistema de tráfico controlado. En la mayoría de los casos la combinación del tráfico controlado con la labranza cero llega a un mayor potencial que la labranza cero.
 5. El sistema de tráfico controlado permite que los agricultores anticipen mayores niveles de precisión en todas las operaciones para poder:
 - a. aumentar la flexibilidad y la eficiencia del control de malezas;
 - b. asperjar el surco del cultivo y los entresurcos en forma independiente;
 - c. usar pesticidas no selectivos en los entresurcos;
 - d. tal vez colocar y manejar los residuos para permitir su manipulación con mejores resultados.
 6. El costo de convertir al sistema de tráfico controlado no debe ser grande siempre que sea cuidadosamente diseñado y parte del proceso de planificación para el futuro. Si es planificado correctamente, es probable que los beneficios superen en mucho los costos.
 7. Hay numerosas formas de llegar al sistema de tráfico controlado que varían en su costo. El diseño del campo es un aspecto particularmente importante porque es necesario considerar el drenaje del campo, la pendiente, la eficiencia de la operación y los obstáculos permanentes.
 8. Las huellas permanentes de las ruedas en un sistema de tráfico controlado deben ser manejadas para asegurar un comportamiento óptimo. Es probable que el manejo incluya:
 - a. rellenos regulares, preferiblemente como parte de las operaciones normales de campo;
 - b. formación del drenaje de las huellas hacia las pendientes en las áreas bajas;
 - c. siembra de los cultivos en circunstancias particulares y en forma especial.

9. Otros beneficios ambientales adicionales pueden ser obtenidos por medio de la labranza cero en combinación con el sistema de tráfico controlado.

17

Reducción de las emisiones ambientales y secuestro de carbono

Don C. Reicosky y Keith E. Saxton

Mientras que la agricultura de labranza aporta en forma significativa gases de invernadero perjudiciales para la atmósfera, la agricultura bajo labranza cero los minimiza, almacenando nueva materia orgánica y reduciendo la oxidación de la materia orgánica existente en el suelo.

Introducción

La agricultura afecta la condición del ambiente de muchas maneras, que incluyen el impacto sobre el calentamiento global por medio de la producción de «gases de invernadero» tales como el CO₂ (Robertson *et al.*, 2000). En el año 2004, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América estimó que la agricultura contribuía aproximadamente con el 7 por ciento de las emisiones de gases de invernadero en ese país (en equivalentes de carbono, CE), especialmente como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Aunque la agricultura representa una fuente menor pero relevante de emisiones de gases de invernadero, con la aplicación de las nuevas prácticas tiene el potencial de actuar como un sumidero, almacenando y secuestrando el CO₂ de la atmósfera en la forma de carbono del suelo (Lal, 1999). Las estimaciones del potencial de las prácticas de la agricultura de conservación para fortalecer el almacenamiento de carbono del suelo varía

entre 154 y 369 millones de toneladas métricas (MMTCE), comparadas con las 345 MMTCE de reducción propuestas por los Estados Unidos de América bajo el Protocolo de Kyoto (Lal *et al.*, 1998). Por lo tanto, los sistemas agrícolas pueden ser manejados para la doble acción de reducir las emisiones de gases de invernadero y de fortalecer el secuestro de carbono. La influencia de los sistemas de producción agrícola sobre la generación y emisión de gases de invernadero es de gran interés porque puede afectar el potencial del cambio climático global. Los ecosistemas agrícolas pueden cumplir una función importante en la producción y consumo de los gases de invernadero, específicamente del CO₂.

La labranza cero, o de conservación, reduce la extensión y frecuencia del disturbio mecánico causado por los arados de vertederas, los macroporos llenos de aire y la tasa de oxidación del carbono. Cualquier esfuerzo que se haga para disminuir la intensidad de la labranza y maximizar el retorno de los residuos debería dar lugar al secuestro de carbono y mejorar la calidad ambiental.

Emisiones de bióxido de carbono inducidas por la labranza

La labranza o preparación del suelo ha sido una parte integral de la producción agrícola.

La labranza también es el principal agente responsable de la perturbación del suelo, la subsiguiente modificación de su estructura y la consecuente degradación. La labranza intensiva puede afectar adversamente la estructura del suelo y causar una excesiva descomposición de los agregados, lo que conduce al movimiento potencial del suelo por vía de la erosión. La labranza intensiva causa la degradación del suelo por medio de la pérdida de carbono y de las emisiones de gases de invernadero inducidas por la labranza, especialmente de CO₂, que tienen impacto sobre la capacidad productiva y la calidad del ambiente.

La labranza intensiva reduce el carbono del suelo. Las grandes pérdidas gaseosas del carbono del suelo causadas por el arado de vertederas, comparadas con las relativamente pequeñas pérdidas causadas por la labranza cero, han demostrado que los sistemas de producción agrícola que usan el arado de vertedera han dado lugar a la disminución de la materia orgánica del suelo; a su vez, los sistemas de labranza cero, o de siembra directa de producción agrícola, están deteniendo o revertiendo esa tendencia (Reicosky y Lindstrom, 1993). La tendencia a la disminución del carbono del suelo con menos labranza será favorable para la agricultura, así como también para la población mundial, al haber un mejor control global del equilibrio del carbono (Reicosky, 1998).

Medida de las emisiones

Los estudios sobre labranza que se citan en este capítulo fueron llevados a cabo en el centro oeste de Minnesota, Estados Unidos de América, en suelos ricos con alto contenido de carbono orgánico (Reicosky y Lindstrom, 1993, 1995; Reicosky, 1997, 1998). En estos estudios, el flujo de CO₂ de la superficie de los suelos labrados fue medido usando una cámara grande, portátil, descrita por Reicosky (1990) y por Reicosky *et al.* (1990), igual a la descrita por Reicosky y Lindstrom (1993). Las

mediciones del flujo de CO₂ se iniciaron generalmente dentro de un minuto después de la labranza y continuaron varias veces. El flujo de CO₂ de la superficie del suelo fue medido usando la cámara portátil grande descrita por Reicosky y Lindstrom (1993).

La cámara con ventiladores en acción fue colocada sobre la superficie labrada o sobre la superficie no labrada y recolectó datos a intervalos de un segundo durante 60 segundos para determinar la tasa de incremento de CO₂ y de vapor de agua dentro de la cámara. La cámara fue entonces levantada, se completaron los cálculos y los resultados se almacenaron en un disco flexible del ordenador.

Los datos incluyeron el tiempo, la identificación de la parcela, la radiación solar, la temperatura del aire, la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura en bulbo húmedo, el resultado del analizador de gas infrarrojo medidor del CO₂ y las concentraciones de vapor de agua en la misma corriente de aire. Después de un cierto plazo se seleccionaron datos de una duración de 30 segundos a fin de convertir las concentraciones volumétricas de vapor de agua y CO₂ a una base de masa y entonces hacer una regresión como función del tiempo usando ecuaciones lineares y cuadráticas para estimar el flujo de los gases. Estos flujos representan la tasa de incremento de CO₂ y de vapor de agua dentro de una cámara en una unidad de un área horizontal diferenciada en una superficie de suelo y en función de la rugosidad del mismo. En los resultados se describen solamente diferencias en los tratamientos respecto a los métodos de labranza, tipo de labranza u objetivos experimentales.

Efectos de la labranza y de los residuos

Estudios recientes que involucran la cámara dinámica descrita anteriormente, varios métodos de labranza y la incorporación de residuos en el campo indicaron importantes

pérdidas de carbono inmediatamente después de la labranza intensiva (Reicosky y Lindstrom, 1993, 1995). El arado de vertedera produjo la superficie más rugosa, el mayor flujo inicial de CO₂ y mantuvo el flujo más alto a lo largo del estudio de 19 días de duración. Los altos flujos iniciales de CO₂ estuvieron más estrechamente relacionados con la profundidad del disturbio del suelo, que dio lugar a una superficie más rugosa y huecos más grandes que la incorporación de los residuos. La labranza asociada con un bajo disturbio del suelo causó menores flujos de CO₂ y huecos de menor tamaño, mientras que la labranza cero tuvo la menor pérdida de CO₂ durante los 19 días.

Las mayores pérdidas gaseosas de carbono del suelo después de arar con arado de vertedera se compararon con pérdidas relativamente pequeñas de la labranza cero o de la siembra directa y muestran por qué los sistemas que usan el arado de vertedera han reducido la materia orgánica del suelo y por qué los sistemas de producción de labranza cero o de siembra directa están deteniendo o invirtiendo esa tendencia. Las pérdidas acumulativas de CO₂ estuvieron relacionadas con el volumen de suelo disturbado por las herramientas de labranza. Los menores flujos de CO₂ fueron causados por la labranza asociada con un bajo disturbio del suelo y con pequeños huecos y con la labranza cero que tuvo la menor pérdida de CO₂ durante los 19 días. Del mismo modo, Ellert y Janzen (1999) usaron un solo pase relativamente poco profundo de un cultivador pesado y una pequeña cámara dinámica para mostrar que los flujos de 0,6 horas después de la labranza eran de dos a cuatro veces mayores que los valores antes de la labranza y que disminuyeron rápidamente dentro de las 24 horas después del trabajo del cultivador. Concluyeron que las influencias a corto plazo sobre la labranza y la pérdida de carbono del suelo fueron modestas en condiciones semiáridas, similares a los resultados encontrados por Franzluebbers *et al.* (1995a, b).

Por otro lado, Reicosky y Lindstrom (1993) concluyeron que los métodos intensivos de labranza, especialmente el arado de vertedera trabajando a 25 cm de profundidad, afectaron el flujo inicial del suelo en forma diferente y sugirieron que las técnicas mejoradas de manejo del suelo pueden minimizar el impacto agrícola sobre el incremento global de CO₂. Reicosky (2001b) demostró posteriormente los efectos de los métodos secundarios de labranza y la compactación postlabranza en la disminución del flujo inducido por la labranza. Aparentemente, una compactación severa del suelo disminuyó la porosidad y limitó el flujo de CO₂ después de la labranza con arado al nivel del tratamiento sin labranza.

Este concepto fue investigado posteriormente cuando Reicosky (1998) determinó el impacto de los métodos de labranza en fajas sobre la pérdida de CO₂, para lo cual usó cinco herramientas diferentes para labranza en fajas en la producción de cultivos en surcos y en labranza cero. Los mayores flujos de CO₂ se encontraron en el uso del arado de vertedera y del subsolador de cincel. En ambos casos los flujos disminuyeron lentamente a medida que el suelo se secaba. El menor flujo de CO₂ se midió en el tratamiento sin labranza. Las otras formas de labranza en fajas estuvieron en una posición intermedia con solo una pequeña cantidad de CO₂ detectada inmediatamente después de la operación de labranza. Estos resultados sugirieron que los flujos de CO₂ estuvieron relacionados lineal y directamente con el volumen de suelo disturbado. La labranza intensiva rompió una mayor profundidad y volumen de suelo e incrementó el área total disponible para intercambio de gas, lo cual contribuyó al flujo vertical del gas. Un disturbio más angosto y menos profundo del suelo causó menos pérdida de CO₂ lo que sugiere que el volumen de suelo disturbado debería ser minimizado para reducir la pérdida de carbono y el impacto sobre el suelo y la calidad del aire. Los resultados también sugirieron que los beneficios ambientales del

almacenamiento de carbono en la labranza en fajas comparados con la labranza de toda la superficie deberían ser considerados en las decisiones de manejo de suelos.

Reicosky (1997) informó que la pérdida media de CO_2 a corto plazo, cinco horas después del uso de cuatro herramientas para labranza cero era solamente el 31 por ciento de la del arado de vertedera. Este arado perdió 13,8 veces más CO_2 en el aire que las áreas sin labranza, mientras que otras herramientas diferentes para labranza cero perdieron en promedio solamente 4,3 veces. Los beneficios de los residuos sobre la superficie del suelo para minimizar la erosión y menores pérdidas de CO_2 después del paso de las herramientas para labranza cero son importantes; sugieren el desarrollo de herramientas para la labranza de conservación que puedan fortalecer el manejo del carbono del suelo. La labranza de conservación reduce la extensión, frecuencia y magnitud de los disturbios mecánicos causados por el arado de vertedera y disminuye los poros grandes llenos de aire para reducir la tasa de intercambio de gas y de oxidación del carbono.

Reicosky *et al.* (2002) demostraron que la remoción de los restos del maíz para ser usado como ensilaje durante 30 años continuos de cultivo de maíz, comparado con el retorno de los residuos y la retirada solamente del grano, no resultó en ninguna diferencia en el contenido de carbono del suelo, después de 30 años de labranza con arado de vertedera. El nivel de fertilidad no tuvo efectos notorios sobre las pérdidas de CO_2 . Los datos del flujo de CO_2 inducido por la labranza representaron el intercambio acumulativo de gas durante 24 horas para todos los tratamientos.

El flujo de CO_2 antes de la labranza de la misma área no labrada promedió $0,29 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ para las parcelas de alta fertilidad al inicio de las mediciones. Esto contrasta con el mayor flujo acumulativo después de la labranza de $45 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ en una parcela de baja fertilidad cultivada con cereales. El flujo de CO_2

mostró un flujo inicial relativamente grande inmediatamente después de la labranza y descendió rápidamente, cuatro o cinco horas después de la labranza. La disminución del flujo de CO_2 continuó a medida que el suelo perdía CO_2 y se secó en 24 horas, cuando los valores fueron más bajos, pero aún substancialmente más altos que aquellos de los tratamientos de labranza cero. El flujo después de 24 horas de la labranza en las mismas parcelas anteriores fue de aproximadamente $3 \text{ g de CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, considerablemente más alto que el valor antes de la labranza.

La tendencia temporal fue similar para todos los tratamientos, lo que sugiere que la liberación física controló el flujo más que los tratamientos experimentales impuestos. La consistencia de la relación C:N en los cuatro tratamientos sugiere un efecto menor de la remoción o adición de residuos y que el arado de vertedera enmascaró los efectos de la remoción de los residuos para ser usados en el ensilaje, de la remoción del grano o de los restos encima de la tierra. La labranza intensiva con el arado de vertedera dominó sobre cualquier aspecto de manejo de los residuos y resultó esencialmente en el mismo contenido bajo de carbono al final de los 30 años. Los resultados sugieren que la labranza intensiva con el arado de vertedera puede encubrir cualquier efecto beneficioso del manejo de los residuos (incorporados o removidos) que podrían ser considerados en un sistema de cultivo.

Labranza en fajas y efectos de la labranza cero sobre la pérdida de CO_2

El impacto de la labranza en grandes áreas sobre el carbono del suelo y la pérdida de CO_2 sugiere posibles mejoramientos con cobertura entre los surcos y menos labranza intensiva en fajas para preparar una cama de semillas angosta, así como también de labranza cero. Reicosky (1998) cuantificó la pérdida de CO_2

a corto plazo inducida por la labranza después del uso de herramientas para labranza en fajas y para labranza cero. Fueron usadas varias herramientas para labranza en fajas espaciadas a 76 cm y se midió el intercambio de gas con una cámara grande portátil. El intercambio de gas se midió regularmente cada seis horas y después a las 24 y a las 48 horas. Durante el estudio la labranza cero tuvo el flujo de CO_2 más bajo y el arado de vertedera produjo el resultado inmediatamente más alto después de la labranza, el cual disminuyó a medida que el suelo se secaba. Otras formas de labranza en fajas tuvieron un flujo inicial relacionado con la intensidad de la labranza, el que fue intermedio entre esos extremos, con las pérdidas acumulativas de cinco y 24 horas relacionadas con el volumen de suelo disturbado por la herramienta de labranza.

La reducción del volumen de suelo disturbado por la labranza debería fortalecer la calidad del suelo y del aire al incrementar el contenido de carbono del suelo. La labranza limitada también puede ser beneficiosa y contribuir a mejorar la calidad del aire y del suelo, minimizar la escorrentía, mejorar la calidad del agua y minimizar el efecto de invernadero. La economía de energía representa un beneficio económico adicional asociado con el menor disturbio del suelo. Los resultados sugieren que los beneficios ambientales de la labranza en fajas deben ser considerados cuando se toman decisiones para el manejo de suelos.

El flujo de CO_2 como función del tiempo para cada método de labranza en las primeras cinco horas demostró que el arado de vertedera tenía el mayor flujo, que llegó a $35 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ y rápidamente bajó a $6 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, cinco horas después de la labranza. El segundo mayor flujo de CO_2 fue de $16 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ seguido por el subsolado con cinceles, el cual también declinó rápidamente. El menor flujo fue medido en el tratamiento de labranza cero con un promedio de $0,2 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ para el período de cinco horas. Otras formas de labranza en fajas ocuparon lugares intermedios y solo se detec-

tó una pequeña cantidad de CO_2 inmediatamente después de algunas operaciones de labranza, que variaron entre 3 y $8 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ y que gradualmente bajaron hasta acercarse a los valores de labranza cero dentro de las cinco horas. Estos resultados sugieren una relación directa entre la magnitud del flujo de CO_2 que parece estar relacionada con el volumen de suelo disturbado.

Las pérdidas acumulativas de CO_2 calculadas integrando el flujo como función del tiempo para ambos períodos de 5 y 24 horas mostraron tendencias similares. Los valores para 24 horas pueden estar sujetos a error debido al largo tiempo que transcurre entre las dos últimas mediciones y el secado inducido por la labranza, que podría haber sido la razón para que los tratamientos con labranza se secan más rápidamente que los tratamientos en labranza cero. El flujo acumulativo de las primeras cinco horas después de la labranza para el arado de vertedera fue de $59,8 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$, decreciendo a $31,7 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para el suelo con subsolador y a un bajo $1,4 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para el tratamiento de labranza cero. Del mismo modo, los datos acumulativos para el período de 24 horas reflejan la misma tendencia con la máxima liberación de $159,7 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ por el arado de vertedera, que decrece a $7,2 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para la labranza cero. Las otras formas de labranza en fajas ocuparon lugares intermedios entre esas y en forma paralela a los datos de cinco horas. Los resultados sugieren que la pérdida acumulativa de CO_2 estuvo directamente relacionada con el volumen de suelo disturbado por la herramienta de labranza. Cuanto más angosto y superficial fue el disturbio del suelo, menores pérdidas de CO_2 causó.

Las áreas de corte del suelo disturbado por la labranza fueron estimadas por mediciones de campo llevadas a escala usando técnicas gráficas. Las gráficas fueron medidas por un medidor de área. Los flujos acumulativos de CO_2 para el tratamiento de 24 horas fueron incluidos en una gráfica como función de esas

áreas de suelo disturbado y mostraron una relación casi lineal entre el flujo acumulativo de 24 horas de CO₂ y el volumen de suelo disturbado por la labranza. Estos resultados sugieren que la labranza intensiva fracturó una mayor profundidad y volumen de suelo e incrementó el área superficial de los agregados disponible para el intercambio gaseoso. Esto aumentó la porosidad del suelo y el área de intercambio de gas lo que contribuyó al flujo vertical; el mayor flujo ocurrió después del arado de vertedera.

Los resultados de las pérdidas de CO₂ a corto plazo en el estudio de labranza en fajas para los cultivos en surcos sugieren que, para minimizar el impacto de la labranza sobre la calidad del aire y del suelo, debe ser minimizado el volumen de suelo disturbado. Debería preferirse la estrategia de la labranza del volumen de suelo necesario para obtener una buena cama de semillas y dejar el resto del suelo protegido e indisturbado para conservar agua y carbono y minimizar la erosión del suelo y la pérdida del CO₂. La labranza limitada también puede ser beneficiosa y contribuir sustancialmente a mejorar la calidad del suelo y del aire, minimizar la escorrentía para fortalecer la calidad del agua y minimizar el efecto invernadero. El ahorro de energía representa un beneficio económico adicional asociado con un menor disturbio del suelo (West y Marland, 2002; Lal, 2004). Los resultados sugieren que deben ser considerados los beneficios ambientales de la labranza en fajas en un área amplia de labranza cuando se toman decisiones sobre manejo de suelos y de residuos.

El concepto de que cada suelo tiene una capacidad finita de almacenamiento de carbono está siendo puesto en discusión. Esto tiene serias implicancias para la productividad del suelo y el potencial del suelo para mejorar el almacenamiento de carbono y reducir los gases de invernadero en la atmósfera. La mayoría de los suelos agrícolas y de los suelos degradados pueden ser importantes sumide-

ros potenciales para el CO₂ atmosférico. Sin embargo, la acumulación del carbono en el suelo no continúa incrementándose con el tiempo y con la adición de más carbono sino que alcanza un límite máximo de saturación que gobierna el límite total del sumidero de carbono (Goh, 2004). La relación entre labranza cero y labranza conservacionista y la forma en que afectan las cantidades de carbono en el suelo está abierta al debate y a la definición de los depósitos de carbono.

La relación entre los cambios inducidos por la labranza en la estructura del suelo y el subsecuente efecto sobre la pérdida de carbono fue revisada por Six *et al.* (2002) dentro del marco de un nuevo concepto de saturación del suelo con carbono. Los autores diferenciaron la materia orgánica del suelo que está protegida de la descomposición por varios mecanismos y discutieron las implicancias de los cambios en el manejo de la tierra para los procesos que afectaron la liberación del carbono. Este nuevo modelo definió la capacidad de saturación del suelo con carbono o el potencial máximo de almacenamiento potencial de carbono determinado por las propiedades físicoquímicas del suelo. Fue diferenciado entre modelos que sugirieron que las existencias de carbono del suelo se incrementan linealmente con nuevos insumos de carbono. Se presume que la capacidad de saturación de carbono será dependiente del clima y del manejo. Esto causa un cambio en los conceptos acerca del secuestro de carbono y que el límite natural de la dependencia del suelo puede existir tanto en los sistemas naturales como en los sistemas manejados por el hombre.

En este análisis es fundamental la función de la glomalina, una sustancia pegajosa producida por hifas de hongos que ayuda a aglutinar los agregados del suelo (Nicholas y Wright, 2004). La labranza cero es una práctica de manejo que ha sido exitosa para incrementar las hifas de los hongos que producen glomalina. El próximo desafío de la investigación será determinar si la saturación del

carbono y la glomalina en todo el proceso de los sistemas de labranza cero y de labranza conservacionista son realmente diferentes. Presumiblemente, con una menor descomposición de los agregados del suelo inducida por la labranza, la labranza cero puede tener ventajas sobre otras formas de labranza conservacionista. Sin embargo, la respuesta final requiere la realización de más investigaciones.

Secuestro de carbono por medio de la labranza cero

La agricultura de conservación está recibiendo atención global como alternativa al uso de los sistemas de labranza convencional y como un medio de secuestro de carbono orgánico del suelo (Follett, 2001; García-Torres *et al.*, 2001). La agricultura de conservación puede trabajar bajo diversas situaciones y es rentable desde el punto de vista del trabajo. Más importante aún, las prácticas que secuestran carbono orgánico del suelo contribuyen a la calidad ambiental y al desarrollo de un sistema agrícola sostenible. La labranza u otras prácticas que destruyen la materia orgánica del suelo o que causan su pérdida resultan en una disminución neta del carbono orgánico del suelo y no conducen a una agricultura sostenible. Los sistemas sostenibles de cultivo comprenden todas aquellas prácticas culturales que aumentan la productividad y que al mismo tiempo favorecen el secuestro de carbono. El manejo de los residuos de los cultivos, la labranza de conservación (especialmente la labranza cero), el manejo eficiente de los nutrientes, la agricultura de precisión, el manejo eficiente del agua y la recuperación de los suelos degradados son elementos que contribuyen a la agricultura sostenible.

Kern y Johnson (1993) calcularon que la conversión del 76 por ciento de las tierras cultivadas en los Estados Unidos de América bajo labranza de conservación podría secuestrar entre 286 y 468 MMTCE en 30 años y con-

cluyeron que la agricultura podría convertirse en un sumidero neto de carbono. Lal (1997) estimó un secuestro global de carbono por medio de la conversión de la agricultura convencional a la agricultura de conservación en cerca de 4 900 MMTCE en el año 2020. La comprobación de la economía de la reducción de costos del combustible y los beneficios ambientales derivados de la conversión a la agricultura de conservación constituyen las primeras etapas para que la agricultura disminuya las emisiones de carbono hacia la atmósfera.

Las prácticas de labranza del suelo son de importancia fundamental para el estado del carbono en el suelo porque afectan directa e indirectamente la dinámica del carbono. Las prácticas de labranza que invierten o disturbian considerablemente la superficie del suelo reducen su contenido de carbono orgánico al incrementar la descomposición y mineralización de la biomasa debido a una mayor aireación y mezcla de los residuos de las plantas; esto expone la materia orgánica del suelo, que anteriormente estaba protegida en agregados de suelo para alimentar la fauna del suelo, e incrementa las pérdidas debido a la erosión (Lal, 1984, 1989; Dick *et al.*, 1986a, b; Blevens y Frye, 1993; Tisdall, 1996). Del mismo modo, los sistemas de labranza cero a largo plazo o de labranza reducida aumentan el contenido de materia orgánica del suelo de la capa superficial como resultado de la interacción de varios factores tales como el mayor retorno de residuos, menos mezcla y disturbio del suelo, mayor contenido de humedad del suelo, menor temperatura de la superficie del suelo, proliferación del crecimiento de las raíces y de la actividad biológica y menores riesgos de erosión del suelo (Lal, 1989; Havlin *et al.*, 1990; Logan *et al.*, 1991; Blevens y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994a, b).

Cambardella y Elliott (1992) observaron que el contenido de carbono orgánico en un suelo franco, en la capa de 0 a 20 cm de profundidad, era de 3,1, 3,5, 3,7 y 4,2 kg/m² para suelo desnudo, suelo cubierto con residuos, labranza

cero y pastura natural, respectivamente. También observaron que las prácticas de labranza pueden producir pérdidas del 40 por ciento o más del total de la materia orgánica del suelo durante un período de 60 años. Edwards *et al.* (1992) observaron que la conversión de la labranza con arado de vertedera a labranza cero incrementó el contenido de carbono orgánico del suelo en la capa superficial de 0 a 10 cm, de 10 g/kg a 15,5 g/kg en 10 años, o sea un incremento del 56 por ciento. Lal *et al.* (1998) indicaron que:

Un resumen de la literatura disponible indica que el potencial de secuestro de carbono orgánico del suelo por la conversión a la agricultura de conservación varía de 0,1 a 0,5 toneladas/ha/año para las regiones templadas húmedas y de 0,05 a 0,2 toneladas/ha/año para las regiones semiáridas y tropicales.

Los mismos autores estimaron además que el incremento del carbono orgánico del suelo puede continuar por un período de 25 a 50 años, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y del manejo.

El secuestro de carbono en el suelo presenta otros beneficios además de la remoción del CO₂ de la atmósfera. La agricultura con labranza cero reduce el consumo de combustibles, disminuye la erosión y fortalece la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua. Los efectos benéficos de la labranza de conservación sobre el carbono orgánico del suelo pueden ser de poco valor si el suelo es labrado, incluso después de un largo período de labranza de conservación (Gilley y Doran, 1997; Stockfisch *et al.*, 1999). Stockfisch *et al.* (1999) concluyeron que la estratificación y acumulación de materia orgánica como resultado de labranza mínima a largo plazo se perdía completamente por una simple inversión de labranza en el curso de un invierno relativamente suave. La labranza acentúa la oxidación del carbono al incrementar la aireación

del suelo y el contacto de los residuos con el suelo y acelera la erosión al exponerlo al viento y a la lluvia (Grant, 1997). Varios experimentos en América del Norte han demostrado que los suelos bajo labranza de conservación tienen un mayor contenido de carbono orgánico en comparación con las camas de semillas preparadas con labranza (Doran, 1980; Doran *et al.*, 1987; Rasmussen y Rohde, 1988; Havlin *et al.*, 1990; Tracy *et al.*, 1990; Kern y Johnson, 1993; Lafond *et al.*, 1994; Reicosky *et al.*, 1995).

Al igual que las ventajas que presenta la labranza cero en América del Norte, Argentina y Brasil (Lal, 2000; Sa *et al.*, 2001), varios estudios han informado acerca del gran potencial existente para el secuestro del carbono orgánico en los suelos europeos. En un análisis de 17 experimentos de labranza en Europa, Smith *et al.* (1998) encontraron que el promedio de aumento de carbono orgánico del suelo de labranza convencional a labranza cero fue del $0,73 \pm 0,39$ por ciento anual y que el carbono orgánico del suelo podría alcanzar un nuevo equilibrio en aproximadamente de 50 a 100 años. El análisis de algunos experimentos a largo plazo en Canadá (Dumanski *et al.*, 1998) indicó que el carbono orgánico del suelo puede ser secuestrado durante 25 a 30 años a una tasa de 50 a 75 g de carbono/m²/año, dependiendo del tipo de suelo, en suelos chernozem y luvisoles bien fertilizados y cultivados continuamente con cereales y heno. El análisis de estos experimentos en Canadá se enfocó en la rotación de cultivos, opuestos a la labranza, y es el único que considera las tasas de secuestro en relación al tipo de suelo.

Considerando el problema a nivel global, West y Post (2002) sugirieron en base a un análisis de regresión que las tasas de secuestro de carbono en el suelo, con el cambio a prácticas de labranza cero, podía tener una respuesta lenta, alcanzar una tasa máxima de secuestro en cinco o 10 años y entonces declinar a casi cero en 15 a 20 años. Esto concuerda

con una revisión de Lal *et al.* (1998) basada en resultados de Franzluebbers y Arshad (1996), que muestra que puede haber poco o ningún incremento en el carbono orgánico del suelo en los primeros dos a cinco años después del cambio en las prácticas de manejo, seguido por un gran incremento en los siguientes cinco o 10 años. Campbell *et al.* (2001) concluyeron que los sistemas de rotación con trigo, en Canadá, alcanzarán un equilibrio después del cambio a labranza cero, 15 ó 20 años más tarde, siempre que las condiciones climáticas permanezcan constantes. Lal *et al.* (1998) estimaron que las tasas de secuestro de carbono pueden continuar por períodos de 25 a 50 años. Las diferentes estimaciones del secuestro de carbono pueden ser debidas parcialmente a las distintas rotaciones y a la diversidad de la rotación.

Emisiones de nitrógeno

Los sistemas de cultivo y la fertilización nitrogenada afectan la producción de biomasa y controlan en parte el aporte de carbono orgánico a las existencias de materia orgánica del suelo. La agricultura también altera el ciclo del nitrógeno. Por medio de la fertilización nitrogenada, los cultivos anuales, la monocultura y el mal manejo del agua, es más probable que el nitrógeno se pierda con el agua subterránea o superficial o en la atmósfera. El N_2O , una emisión común de los suelos agrícolas, es un potente gas de invernadero (310 veces más potente que el CO_2) y cuya concentración atmosférica ha aumentado en un 15 por ciento en los dos últimos siglos (Mosier *et al.*, 1998). Su reducción puede ser obtenida por medio de un mejor manejo del nitrógeno así como por el manejo del agua de riego ya que el N_2O es generado en el suelo, tanto bajo condiciones aeróbicas (donde ocurre la nitrificación) como bajo condiciones anaeróbicas (donde ocurre la denitrificación).

Debido a los ciclos del carbono y del nitrógeno fuertemente ligados, los cambios en las tasas de secuestro de carbono y los ecosistemas terrestres afectarán directamente los procesos de recambio del nitrógeno en los suelos y el intercambio de compuestos nitrogenados gaseosos en la biosfera-atmósfera. Algunos datos sugieren que el incremento de las emisiones de N_2O pueden estar estrechamente ligadas al incremento del secuestro de carbono en el suelo (Mosier *et al.*, 1991; Vinther, 1992; McKenzie *et al.*, 1998; Robertson *et al.*, 2000). Si la labranza cero es realmente una verdadera práctica viable de manejo, su adopción debería mitigar el impacto general porque reduce el potencial de calentamiento global determinado por los flujos de todos los gases de invernadero, entre ellos N_2O y CH_4 .

Six *et al.* (2004) evaluaron el potencial de mitigación del calentamiento global con la adopción de la labranza cero en las regiones templadas; para ello compilaron todos los datos disponibles que informaban sobre las diferencias en flujo del carbono derivado del suelo, N_2O y CH_4 , entre los sistemas de labranza convencional y labranza cero. El análisis indicó que, al menos en la primera década, el cambio de la labranza convencional a la labranza cero podría generar un fortalecimiento de las emisiones de N_2O en los ambientes húmedos y algo menores emisiones en los ambientes secos, lo cual superaría algunas de las ganancias potenciales del secuestro de carbono, y que, después de 20 años, las emisiones de N_2O podrían volver o disminuir por debajo de los flujos de la labranza convencional. Encontraron que las emisiones de N_2O con un alto potencial de calentamiento global son responsables de gran parte de la tendencia del potencial del calentamiento global, lo que sugiere que un mejor manejo del nitrógeno es fundamental para aprovechar todos los beneficios del almacenamiento de carbono en el suelo a fin de mitigar el calentamiento global. Los autores fueron cautos en la promoción de la agricultura bajo labranza cero para

reducir las emisiones de gases de invernadero y sugirieron que el total de las fuerzas de radiación necesita mayor consideración, más allá de apreciar solo el beneficio del secuestro de carbono. Indicaron que es fundamental investigar a corto y largo plazo los efectos de varias estrategias de manejo para la reducción a largo plazo del los flujos de N_2O bajo las condiciones de labranza cero. Estos resultados sugieren la necesidad de más investigación básica sobre las emisiones de N_2O durante la transición de la labranza convencional a la labranza cero y después de que se hayan alcanzado condiciones de equilibrio para cuantificar adecuadamente los efectos de sobrepasar el carbono como potencial del calentamiento global.

En Brasil, muchos estudios, pero no todos, indican que la introducción de labranza en fajas incrementa la materia orgánica del suelo (Bayer *et al.*, 2000a, b; Sa *et al.*, 2001). Sisti *et al.* (2004) evaluaron los cambios en el carbono del suelo en un estudio de 13 años que comparaba tres rotaciones distintas de cultivos en labranza en fajas y en labranza conservacionista en un suelo oxisol arcilloso muestreado hasta 100 cm de profundidad. Encontraron que, bajo una secuencia continua de trigo en invierno y soja en verano, las existencias de carbono en el suelo a 100 cm bajo la zona de labranza no eran significativamente diferentes de aquellas bajo labranza conservacionista. Sin embargo, en rotaciones con vicia, las existencias de carbono en el suelo fueron significativamente mayores en la labranza en fajas que en la labranza de conservación. Los autores concluyeron que la contribución de la fijación del nitrógeno por la leguminosa fue el factor principal responsable de la acumulación de carbono en la zona de suelo bajo labranza en fajas. Los resultados demuestran la función diversa de las rotaciones de cultivos en la acumulación de carbono en el suelo, especialmente cuando incluyen leguminosas que proporcionan nitrógeno orgánico en la zona de labranza en

fajas. La naturaleza dinámica de la relación carbono:nitrógeno puede requerir nitrógeno orgánico adicional para incrementar el secuestro de carbono en profundidad. Sisti *et al.* (2004) encontraron que la mayor parte de la ganancia de nitrógeno ocurrió a profundidades por debajo del nivel de paso del arado, lo que sugiere que la mayor parte del carbono acumulado en el suelo era derivado de los residuos de las raíces.

Otros trabajos hechos en Brasil reflejan la importancia de los efectos del manejo del suelo y las plantas sobre las pérdidas de carbono y nitrógeno a un metro de profundidad (Diekow *et al.*, 2004). Los autores evaluaron las pérdidas de carbono y nitrógeno durante un período de cultivo convencional que siguió a una pastura nativa y 17 años de labranza cero en sistemas basados en cereales y leguminosas con diferentes niveles de fertilización nitrogenada para incrementar las existencias de carbono y nitrógeno. Con la fertilización nitrogenada, las existencias de carbono y nitrógeno en la rotación avena/maíz fueron uniformes en el tiempo. Sin embargo, encontraron un incremento en las existencias de carbono y nitrógeno debido al mayor aporte de residuos en los sistemas de cultivo basados en leguminosas. La labranza cero a largo plazo con sistemas de cultivo basados en leguminosas y fertilización nitrogenada aumentaron las existencias de carbono y nitrógeno del suelo de tierras previamente cultivadas a niveles de los valores originales de las pasturas nativas. El nitrógeno y los residuos de leguminosas en una rotación fueron más efectivos para mejorar las existencias de carbono en el suelo que el aporte de fertilizante nitrogenado inorgánico de fertilizantes aplicados al cultivo de pastos en la rotación. Además, el nitrógeno de las leguminosas no requiere usar combustibles fósiles para fabricar el fertilizante nitrogenado. El cambio dominante del suelo ocurrió en la capa superficial; sin embargo, las capas más profundas fueron importantes para el almacenamiento de carbono y nitrógeno, lo

cual conduce al mejoramiento de la calidad del suelo y del ambiente.

La literatura contiene abundantes evidencias de que la labranza intensiva disminuye el carbono del suelo y apoya una mayor adopción de formas mejoradas y nuevas de labranza conservacionista o de siembra directa para preservar o incrementar la materia orgánica del suelo (Reicosky *et al.*, 1995; Paul *et al.*, 1997; Lal *et al.*, 1998). Considerando las pérdidas de carbono causadas por la agricultura intensiva, la reversión de la tendencia de la disminución del carbono del suelo con una labranza de menor intensidad debería ser beneficiosa para la agricultura y para la población mundial al tener mejor control del equilibrio global del carbono (Houghton *et al.*, 1983; Schlesinger, 1985). Los beneficios económicos y ambientales de la labranza de conservación y de la siembra directa deben ser considerados en el desarrollo de prácticas mejoradas de manejo para una producción sostenible. Sin embargo, los beneficios de la labranza cero para el secuestro de carbono orgánico en el suelo pueden ser específicos para el tipo de suelo o para el lugar y el mejoramiento del nivel del carbono orgánico del suelo puede ser muy escaso o nulo en suelos de textura fina o pobremente drenados (Wander *et al.*, 1998). Six *et al.* (2004) indicaron una fuerte dependencia en el tiempo del potencial de mitigación de la agricultura bajo labranza cero de los gases de invernadero, lo que demuestra que la mitigación por la adopción de la labranza cero es mucho más variable y compleja de lo que se creía anteriormente.

Política de los créditos de carbono

El incremento de la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera es un problema global que requiere una solución igualmente global (Kimble *et al.*, 2002; Lal, 2002). Las preocupaciones acerca los efectos

negativos del calentamiento del clima originado por el incremento de los niveles de gases de invernadero en la atmósfera ha llevado a que las naciones establezcan metas y políticas internacionales para la reducción de esas emisiones. Los objetivos iniciales para las reducciones están establecidos en el Protocolo de Kyoto dentro del marco de la Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas; este permite negociar créditos que representan reducciones verificadas de gases de invernadero de la atmósfera (Secretariado del Marco de la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, 1997).

La negociación de emisiones puede hacer posible que se obtengan reducciones netas de los gases de invernadero por mucho menor costo que sin negociaciones (Dudek *et al.*, 1997). El almacenamiento del carbono en los suelos usando las técnicas de la agricultura de conservación puede ayudar a superar las emisiones de gases de invernadero y al mismo tiempo proporcionar numerosos beneficios ambientales, tales como incrementar la productividad, aumentar la infiltración de agua y mantener la diversidad de la flora y la fauna del suelo (Lal *et al.*, 1998; Lal, 2002). El almacenamiento de carbono en los bosques también puede proporcionar beneficios ambientales resultantes del incremento de árboles maduros que contribuyen al secuestro de carbono (Row *et al.*, 1996). Si bien el carbono es un elemento fundamental para que la agricultura contribuya a solucionar el problema del calentamiento global, una advertencia crítica es que otros gases de invernadero cambian con los cambios en el uso de la tierra, entre ellos CH₄ y N₂O. Es necesario considerar al potencial neto de calentamiento global, no solo para las futuras negociaciones sobre el carbono sino en créditos potenciales para el calentamiento global en lugar de créditos solo para el carbono.

Dado que el interés en el secuestro de carbono aumenta y que los mercados internacionales para las negociaciones de carbono están

avanzadas, es importante que se desarrollen políticas adecuadas que prevengan la explotación del carbono orgánico del suelo y al mismo tiempo reemplacen el carbono perdido y establezcan su valor (Walsh, 2002). Son necesarias políticas que estimulen el secuestro de carbono por los beneficios ambientales que esto genera (Kimble *et al.*, 2002) y al hacer que el carbono sea un producto básico es necesario determinar su valor de mercado con un criterio racional.

Los agricultores y la sociedad se beneficiarán del secuestro de carbono. El mejoramiento de la calidad del suelo beneficia a los agricultores pero los agricultores y la sociedad en general se benefician del control de la erosión, de la reducción de los sedimentos en los depósitos y corrientes de agua, por el mejoramiento de la calidad del aire y del agua y la biodegradación de los contaminantes y productos agroquímicos. Los agricultores deben ser compensados por los beneficios sociales del secuestro de carbono y los mecanismos que se desarrollen deberán permitir la negociación del carbono y mantener los derechos de propiedad. Un criterio importante para desarrollar el sistema es la medida y la verificación de las opciones de carbono a ser secuestrado y la importancia que los responsables de las políticas sean conscientes de estos procedimientos y de las dificultades técnicas. El uso de los mecanismos de mercado de los créditos internacionales de carbono debe ayudar a enfrentar el desafío del cambio climático y las futuras limitaciones del carbono, el cual permite el desarrollo sostenible al más bajo costo.

Los sistemas de contabilización de los créditos del carbono deben ser transparentes, uniformes, comparables, completos, seguros y verificables (IPCC, 2000). Otros atributos para un sistema global exitoso incluyen la participación global y la liquidez del mercado, los enlaces con diferentes esquemas de negociación, bajos costos de transacción y reconocimientos para acciones de reducción

voluntaria de las emisiones antes de que se establezcan los mandatos al respecto. La caracterización de las relaciones entre el carbono del suelo y la calidad del agua y del aire, y todos los otros beneficios ambientales, deberían facilitar la aceptación social de este tipo de agricultura. El mayor obstáculo es el proceso educativo dirigido a los ejecutivos y al público consumidor de alimentos, que requiere un cierto mejoramiento.

Un creciente número de organizaciones en todo el mundo están ejecutando proyectos voluntarios beneficiosos para el clima como un medio para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos y los riesgos. Las industrias y las instituciones de todo el mundo se están dando cuenta de que los beneficios de un buen manejo ambiental superan el costo, actual y futuro, de un buen manejo integral que incluye estrategias para reducir las emisiones de gases de invernadero, la exposición a riesgos y para fortalecer las operaciones competitivas en general. Las organizaciones multinacionales están participando en los mercados de negociación de créditos de carbono a fin de evitar futuros costos y proteger sus franquicias frente a la creciente preocupación internacional (Walsh, 2002). En la evolución hacia una economía global y como una preocupación sobre el impacto global ambiental, el manejo de las emisiones de CO₂ será un factor importante en la planificación y en las operaciones de entidades industriales y gubernamentales en todo el mundo, lo que crea desafíos y oportunidades para aquellos que sean capaces de reconocer y capitalizar las mismas.

Los servicios globales del ecosistema proporcionados por los agricultores y otros propietarios de tierras pueden proveer una fuente de emisión de créditos de carbono a ser vendidos por los emisores de carbono y, por lo tanto, proporcionar una fuente adicional de ingresos para los agricultores, especialmente para aquellos que participan de la labranza cero. Las negociaciones de créditos de carbono tienen el potencial para hacer que la

agricultura de conservación sea más provechosa y al mismo tiempo fortalezca el ambiente. El potencial de los créditos de carbono ha atraído considerable atención de los agricultores, probablemente compradores de los créditos de carbono. Sin embargo, es difícil estar completamente informado acerca del desarrollo de los créditos de carbono en razón de su potencial, de su complejidad técnica y de la velocidad del desarrollo de este tema. Las reglas para las negociaciones de créditos de carbono aún no han sido acordadas pero el diálogo internacional está tratando de desarrollar un sistema y unas reglas aceptables para las negociaciones. Las organizaciones que están trabajando para desarrollar un sistema de negociaciones de créditos de carbono sugieren que es necesario algún tipo de mecanismo internacional a fin de que esas negociaciones sean una realidad.

La información sobre negociaciones para créditos de carbono se está poniendo rápidamente a disposición del público; sin embargo, la información sobre créditos negociados privadamente es escasa. En este momento existe una cierta incertidumbre sobre qué compañías emergerán como fuentes confiables de información de alta calidad y las entidades que puedan manejar las negociaciones en forma confiable y justa. Los abastecedores potenciales y los compradores de créditos de carbono deben proceder con precaución porque muchos de los temas importantes de los créditos de carbono y sus negociaciones deben ser aun clarificados. Es necesario convencer a los ejecutivos, a los ambientalistas y a los industriales de que el secuestro de carbono en el suelo es un importante beneficio adicional de la adopción de sistemas de producción de agricultura conservacionista, mejorados y recomendados. Esta opción es básica, aparte de la amenaza del cambio climático global generado por los combustibles fósiles.

Las prácticas de agricultura de conservación (especialmente la labranza cero) pueden contribuir a mitigar el calentamiento global al re-

ducir las emisiones de carbono de las tierras agrícolas y secuestrando carbono en el suelo por medios legales, con incentivos de mercado y medios voluntarios o educativos (Lal, 2002). Las políticas públicas pueden estimular la adopción de esas prácticas. Sin embargo, en el momento actual hay un cierto grado de incertidumbre para los inversores y los potenciales inversores en los sumideros forestales de carbono respecto a las reglas especiales que se aplicarán a los sumideros según las indicaciones del Protocolo de Kyoto. Los inversores y los potenciales inversores en los sumideros de carbono deben conocer de que hay incertidumbre a nivel internacional. Los costos administrativos y de las transacciones podrían tener un papel fundamental para determinar el éxito de cualquier negociación de créditos de carbono. Se espera que los costos en esas áreas sean minimizados por medio de mejores técnicas y servicios para medir e informar acerca del carbono secuestrado, los consultores del sector privado, las economías de escala y la emergencia de mecanismos y estrategias de mercado tales como los grupos de carbono o su agregación. Existen riesgos involucrados en la venta adelantada de créditos de carbono en cualquier sistema formalizado de negociación internacional y aquellos que participen en las primeras negociaciones deben clarificar las responsabilidades y obligaciones. Sin embargo, se debe poner atención en el diseño de estas políticas para asegurar su éxito, para evitar consecuencias económicas y ambientales involuntarias o adversas, y para proporcionar un beneficio social máximo.

Resumen de la reducción de las emisiones ambientales y el secuestro de carbono

Mientras avanzan los conocimientos sobre las emisiones de carbono, el almacenamiento de carbono en el suelo y sus funciones fundamentales sobre los beneficios ambientales, es

necesario comprender los beneficios ambientales secundarios de la labranza cero y su significado para una producción agrícola sostenible. La comprensión de estos beneficios ambientales está directamente relacionada con el carbono del suelo y llegar a prácticas de conservación ejecutadas sobre la tierra fortalecerá el desarrollo de la armonía entre los seres humanos, al mismo tiempo que incrementará la producción de alimentos, fibras y biocombustibles.

La reducción de las emisiones de carbono del suelo y el incremento del almacenamiento de carbono en el suelo pueden aumentar la infiltración, incrementar la fertilidad, reducir la erosión hídrica y eólica, minimizar la compactación, mejorar la calidad del agua, impe-

dir el movimiento de los pesticidas y mejorar la calidad ambiental. El incremento de los niveles de gases de invernadero en la atmósfera requiere que todas las naciones establezcan metas nacionales e internacionales y políticas para las reducciones. El hecho de aceptar el desafío de mantener la seguridad alimentaria por medio de la incorporación del almacenamiento de carbono en la planificación de la conservación demuestra preocupación por nuestros recursos globales y nuestros deseos de trabajar en armonía con la naturaleza. Esta preocupación abre la posibilidad de una función fundamental para la labranza cero, la cual tendrá un impacto de primer orden sobre la sostenibilidad global y nuestra futura calidad de vida.

18

Algunas comparaciones económicas

C. John Baker

La economía a largo plazo de la labranza cero estará determinada más por la maximización del rendimiento de los cultivos y por los retornos en efectivo que por la minimización del costo de los insumos.

En este capítulo se analizan algunas comparaciones económicas de la labranza convencional comparada con la labranza cero. Sin embargo, no importa cómo se hacen las comparaciones ya que, en último grado, los rendimientos de los cultivos afectarán los resultados tanto como el costo de los insumos.

También son importantes las comparaciones entre diferentes niveles de labranza cero. Por ejemplo, una sembradora de poco costo para labranza cero que cuesta la mitad de una alternativa más avanzada causa una reducción de solo el 4-5 por ciento de los rendimientos de los cultivos, pero será una mala inversión.

Sin embargo, la comparación más común es entre labranza convencional y labranza cero. Las opiniones abundan sobre si es más económico usar labranza cero o labranza convencional. Las comparaciones a menudo inducen a error por las siguientes razones:

1. Los agricultores que consideran cambiar de labranza convencional a labranza cero a menudo comparan los costos de reclutar un contratista para labranza cero con el costo de hacer la labranza por su cuenta.

Muchos incluyen solamente los costos directos, como el combustible, como costo de la labranza dado que ya poseen el equipo que consideran que ya ha sido amortizado. El problema real no está claro hasta que los agricultores tienen que reemplazar su equipo de labranza desgastado. De cualquier manera, se intentará analizar esta situación comparando el costo de las máquinas de labranza convencional usadas con las máquinas para labranza cero usadas.

2. Es comprensible que los agricultores, aun cuando estén dispuestos a cambiar a labranza cero, conserven sus equipos de labranza convencional al menos por unos pocos años, como una forma de seguro («en caso de que la labranza cero no funcione») mientras que pagan a un contratista por los trabajos de labranza cero. En realidad, por un cierto período, están pagando dos veces, pero no tanto como ellos imaginan, tal como demuestran los últimos análisis.
3. Muchas comparaciones penalizan la labranza cero al imponer ciertas reducciones esperadas en los rendimientos de los cultivos y/o incrementos en la densidad de siembra y/o dosis de fertilización durante los primeros años. Esto no se aplica cuando se usan equipos y tecnologías modernos para labranza cero. Las últimas experiencias han mostrado repetidamente que

usando maquinarias y sistemas avanzados para labranza cero se obtendrán rendimientos de cultivos que en el Año 1 son por lo menos comparables con la labranza convencional y probablemente significativamente mejores en los años sucesivos. En realidad, la densidad de siembra de algunos cultivos y pasturas se reduce hasta un 50 por ciento y no se incrementa. Por otro lado, si se usan sistemas y tecnologías de bajo nivel para labranza cero puede ser que ocurran algunas reducciones de los rendimientos.

4. Las comparaciones económicas deberían contabilizar (pero raramente lo hacen) las reducciones en la labranza cero de la mano de obra, número de tractores, horas de trabajo de los tractores, consumo de combustible y depreciación. Por ejemplo, un agricultor en los Estados Unidos de América, que usaba métodos modernos de labranza cero, informó recientemente que ahora usa más combustible para cosechar sus cultivos que para las tareas culturales; un hecho desconocido en la labranza convencional (D. Wolff, 2005, comunicación personal).
5. En el caso de la labranza cero, los tractores por lo general trabajan solo una cuarta parte de las horas anuales trabajadas en la labranza convencional y, consecuentemente, duran más. Por lo tanto, el costo de la depreciación anual, de los intereses y del seguro pueden reducirse y los intervalos de reemplazo de la maquinaria son mayores.
6. Algunos agricultores tienen una fuerza de trabajo permanente sin funciones alternativas para la misma cuando la demanda para la siembra se reduce; aparentemente, en este aspecto, la labranza cero no ofrece una buena perspectiva. Por otro lado, los agricultores progresistas han usado el tiempo libre para aumentar el área cultivada cada año. El análisis económico de este elemento es de difícil planteamiento.
7. La cantidad de capital recuperado de la venta de equipo usado para labranza con-

ventional disminuirá a medida que la labranza cero se difunda. El mercado para equipos de segunda mano se reducirá y esto tendrá cierto impacto para algunos agricultores cuando hagan el cambio.

¿Cómo se dividen las cifras en ambos lados de la labranza convencional y de la labranza cero? Se tratará de proporcionar respuestas desde dos perspectivas. La primera fue examinar cuatro escenarios posibles de propiedad (C. J. Baker, 2000, datos sin publicar). Se usaron los costos de equipos en Nueva Zelandia ya que este país tiene algunos de los equipos más costosos y avanzados para labranza cero, así como también alternativas más económicas. El segundo análisis consistió en revisar los resultados de lo cobrado por un contratista a un cliente, en Inglaterra, en dos estaciones de siembra. La primera estación (2002/2003) fue para labranza convencional y labranza mínima y la segunda estación (2003/2004) fue para labranza cero (J. Alexander, 2004, comunicación personal).

En ambos análisis se asume que los rendimientos de los cultivos son los mismos para labranza convencional y para labranza cero. Tal suposición es válida solamente si se usa equipo avanzado (por lo general más costoso) para labranza cero. Si se usa equipo menos avanzado (menos costoso) para labranza cero es probable que los rendimientos de los cultivos sean menores que en la labranza convencional, y además que agregarán un costo adicional a la labranza cero. Las comparaciones citadas más adelante pueden, por lo tanto, requerir ajustes para los equipos menos avanzados.

Obviamente, las cifras reales pueden requerir ajustes para otros países y años, pero los lectores pueden cambiar los datos de los insumos y recalcular los resultados sobre la base de los insumos locales. En la mayoría de los casos los valores relativos permanecerán aproximadamente iguales, sin que tenga mayor importancia el cambio de las cifras reales según el tiempo y el lugar.

Comparaciones en Nueva Zelanda

- Escenario A: economía del uso de un contratista para labranza convencional o para labranza cero.
- Escenario B: economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o para labranza cero.
- Escenario C: economía de la conservación del equipo para labranza convencional o compra de equipo para labranza cero, nuevo o usado.
- Escenario D: economía de la conservación del equipo usado para labranza convencional o reclutar un contratista para labranza cero.

Suposiciones

1. Área sembrada 300 hectáreas: 150 hectáreas sembradas dos veces por año (el área sembrada podría incrementarse substancialmente con la labranza cero, pero esta posibilidad no fue tomada en consideración).
2. Con labranza cero, glifosato, cebo para babosas y chloropyrifos, usados en primavera para control de plagas y malezas.
3. Con labranza convencional, se aplica glifosato antes de la arada de primavera (a una dosis menor que para labranza cero) pero no se aplica en la siembra de otoño.
4. Todos los valores están dados en dólares de Nueva Zelanda, en el año 2004.

Escenario A: economía del uso de un contratista para labranza convencional o para labranza cero

Siembra de 150 hectáreas de trigo de primavera (Cuadro 33) seguido por 150 hectáreas de un cultivo forrajero de otoño (Cuadro 34). El Cuadro 35 resume los costos antes de pagar impuestos.

Cuadro 33 Cultivos de primavera que usan contratistas (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Glifosato (incluida aplicación) ^a	55/ha ^b	65/ha
Chloropyrifos (aplicado con el glifosato)		40/ha ^c
Cebo para babosas (aplicado con la sembradora)		40/ha
Contratista	250/ha	40/ha
Semillas y fertilizante	Igual	Igual
Total	305/ha	245/ha
Rendimiento del cultivo	Igual	Igual
× 150 hectáreas	45 750	36 750

^a El glifosato se aplica a una dosis más baja en labranza convencional.

^b *N. del T.*: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

^c El costo de chloropyrifos se reduciría a N\$Z 8/ha con menor presión de las plagas.

Cuadro 34 Cultivos de otoño que usan contratistas (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Glifosato		
Chloropyrifos		
Cebo para babosas		
Contratista	150/ha	100/ha
Semillas y fertilizantes	Igual	Igual
Total	150/ha	100/ha
Rendimiento del cultivo	Igual	Igual
× 150 hectáreas	22 500	15 000

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

CONCLUSIONES

1. Basado en el trabajo de un contratista, los costos (y, por lo tanto, el margen bruto) para un año favorecen la labranza cero: N\$Z 16 500 o N\$Z 55/ha.

Cuadro 35 Resumen de costos anuales totales antes de los impuestos (en N\$Z).

	Labranza convencional	Labranza cero
Costos	68 250	51 750
Costo/ha	227/ha	172/ha
Diferencia (en favor de labranza cero)		16 500 55/ha

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

2. Aun si el glifosato es omitido de la labranza en primavera (a N\$Z 55/ha), la comparación todavía favorece la labranza cero en N\$Z 8 250/año o N\$Z 27,50/ha para todo el año.
3. En este análisis no se han considerado los beneficios de establecer cultivos o pasturas de otoño usando métodos avanzados de labranza cero inmediatamente después de la cosecha, ni tampoco para la utilización adicional en primavera de la tierra que procede de la labranza cero. Estos factores por sí solos pueden ser evaluados a un valor adicional de N\$Z 440/ha en favor de la labranza cero (W. R. Ritchie, 2003, datos sin publicar).

NOTAS

1. Cuando se siembran colza, arvejas u otros cultivos de hoja ancha en primavera, el costo del chloropyrifos para labranza cero puede ser reducido a N\$Z 8/ha, lo cual reduce el costo por hectárea en labranza cero en primavera a N\$Z 213/ha (costo general N\$Z 140/ha), e incrementa la diferencia general entre los dos a N\$Z 87/ha en favor de la labranza cero.
2. El contrato de labranza varía de un lugar a otro de N\$Z 250/ha a N\$Z 500/ha. Se usó la cifra más baja.
3. El contrato para labranza cero con equipos avanzados varía entre N\$Z 100/ha y N\$Z 150/ha, dependiendo del contorno, tamaño del predio, etc. Se usó la cifra más baja.

4. Si se usa el equipo para labranza cero más económico, los costos de siembra se reducirán pero es probable que los rendimientos de los cultivos sean menores en mayor proporción que el ahorro en los costos.
5. Los herbicidas y pesticidas a menudo son innecesarios en la siembra de otoño con labranza cero. Algunos o todos pueden ser necesarios en otras situaciones; en esos casos el costo a dosis reducidas de aplicación debería ser agregado a los costos de la labranza cero.
6. La labranza de otoño en Nueva Zelanda por lo general involucra labranza mínima.

Escenario B: economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o para labranza cero

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivos forrajeros en otoño. Los costos de capital asociados con la compra de todos los equipos nuevos se encuentran en el Cuadro 36. Los costos operativos anuales antes del pago de los impuestos se encuentran en el Cuadro 37.

CONCLUSIONES

1. El costo del capital del equipo avanzado para labranza cero fue muy similar al del equipo nuevo para labranza convencional.
2. Con los nuevos equipos, se pueden hacer ahorros anuales en costos operativos de aproximadamente N\$Z 18 000/año (N\$Z 61/ha) si se compra equipo avanzado para labranza cero en lugar de equipos para labranza convencional.

NOTAS

1. La depreciación fue calculada directamente como:
Tractores para labranza: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (10 años).

Cuadro 36 Costos de capital antes del pago de los impuestos por la compra de equipos nuevos (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Tractor 170 hp (1)		170 000
Tractor 120 hp (1)	120 000	
Tractor 80 hp (1)	80 000	
Asperjadora	6 000	6 000
Arado (5 surcos)	28 000	
Rastra (3 m)	23 000	
Rodillo	6 000	
Niveladora	3 000	
Sembradora	34 000	124 000
Costo total del capital	300 000	296 000
Diferencia		Insignificante

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Cuadro 37 Costo anual antes del pago de los impuestos del equipo nuevo (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Depreciación ^a		
(tractores)	10 000	4 250
(otros equipos)	2 500	3 150
Intereses ^b (9%) en inversiones promedio	20 250	19 980
Mantenimiento ^c (tractores c/u 5%/año)	10 000	8 500
Mantenimiento ^c (equipo en contacto con la tierra c/u 7%/año)	6 580	8 400
Mantenimiento ^c (equipo no en contacto con la tierra c/u 3%/año)	180	180
Combustible		
(50 l/ha labranza primavera) c/u 65 c/l	4 875	
(25 l/ha labranza otoño) 65 c/l	2 438	
(15 l/ha labranza cero primavera y otoño) c/u 65 c/l		2 925
Mano de obra		
(4 h/ha labranza primavera) c/u N\$Z 15/h	9 000	
(2 h/ha labranza otoño) c/u N\$Z 15/h	4 500	
(1 h/ha labranza cero primavera y otoño) c/u N\$Z 15/h		4 500
Total anual costos de operación	70 323	51 885
Costo por hectárea	234	172
Diferencia (en favor de labranza cero)		18 438 (o 61/ha)

Nota: a,b,c: ver el apartado «Notas» del Escenario B.

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Tractor para labranza cero: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (20 años).

Otros equipos: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (20 años).

2. El interés fue calculado sobre el promedio de las inversiones (nuevo precio más el precio de cambio dividido entre 2) $\times 0,09$.
3. El mantenimiento se tomó de datos publicados (Bainer *et al.*, 1955).
4. El costo actual total de la mano de obra probablemente sea cercano a N\$Z 20/hora si se consideran tiempo perdido, viajes, mantenimiento, etc.

*Escenario C: economía
de la conservación del equipo
para labranza convencional y compra
de equipo para labranza cero, nuevo
o usado*

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivo forrajero de otoño. Los costos de capital asociados con la compra de equipos nuevos o usados para labranza cero comparados con la conservación de la propiedad de los equipos de labranza se muestran en el Cuadro 38. Los costos de operación antes del pago de los impuestos de los equipos nuevos o usados para labranza cero se muestran en el Cuadro 39.

CONCLUSIONES. Los costos de capital se reducen virtualmente a la mitad en el caso de equipos de segunda mano (labranza o labranza cero) comparados con los nuevos equipos. Unos \$EE UU 95 000-97 500 de costos de capital pueden ahorrarse comprando equipos de segunda mano para labranza o labranza cero.

NOTAS

1. El valor del equipo usado se consideró dos tercios del valor del equipo nuevo si bien el equipo está en la mitad de su vida útil. El valor comercial continúa siendo el 50 por ciento de su valor nuevo al final de su vida útil.

CONCLUSIONES

1. Los costos anuales de propiedad y operación del equipo de labranza convencional usado (N\$Z 59 228/año) fueron aproximadamente N\$Z 11 000 menor que para el equipo nuevo de labranza (N\$Z 70 323/año – Escenario B).

Cuadro 38 Costos de capital antes del pago de los impuestos de los equipos nuevos para labranza cero y de equipo usado para labranza convencional y labranza cero (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional (usado) ^a	Labranza cero (nuevo)	Labranza cero (usado) ^a
Tractor 170 hp (1)		170 000	14 000
Tractor 120 hp (1) (3 300 h)	80 000		
Tractor 80 hp (1) (3 300 h)	54 000		
Asperjadora	4 500	6 000	4 500
Arado (5 surcos, usado)	19 000		
Rastra (3 m, usada)	15 500		
Rodillo (usado)	4 500		
Niveladora (usada)	4 500		
Sembradora convencional (usada)	23 000		
Sembradora labranza cero		120 000	80 000
Total costo capital	205 000	296 000	198 500
Diferencia (a favor de equipo usado – ver Escenario B)	95 000		97 500

Nota: a ver el apartado «Notas» del Escenario C.

N. del T.: En 2004, aprox. 1 NZ\$ = 0,77 \$EE UU.

Cuadro 39 Costos anuales, antes del pago de los impuestos, de equipo nuevo y usado para labranza cero y equipo para labranza convencional usado (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional (usado)	Labranza cero (nuevo)	Labranza cero (usado)
Depreciación ^a (tractores)	6 800	4 250	2 900
Depreciación ^a (otros equipos)	2 100	3 150	2 150
Interés ^b c/u 9% (tractores y equipos)	15 975	19 980	15 592
Mantenimiento ^c tractores c/u 5% precio nuevo/año)	10 000	8 500	8 500
Mantenimiento ^c equipo en contacto con la tierra c/u 7% precio nuevo/año)	3 360	8 400	8 400
Mantenimiento ^c (equipo no en contacto con la tierra c/u 3%/año)	180	180	180
Combustible			
(50 l/labranza primavera) c/u 65 c/l	4 875		
(25 l/labranza otoño) c/u 65 c/l	2 438		
(15 l/labranza primavera y otoño labranza cero) c/u 65c/l		2 925	2 925
Mano de obra			
(4h/ha labranza primavera) c/u N\$Z 15/h	9 000		
(2h/ha labranza otoño) c/u N\$Z 15/h	4 500		
(1 h/ha labranza cero primavera y otoño) c/u N\$Z 15/h		4 500	4 500
Total costos anuales de operación	59 228	51 885	45 147
Costo por hectárea	197	173	150
Diferencia (en favor de labranza cero)		7 343 (o 24/ha)	14 081 (o 46/ha)

Notas: ^{a,b,c}: ver el apartado «Notas» del Escenario C
N del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

2. Los costos anuales de propiedad y operación del equipo de labranza convencional usado (N\$Z 59 228/año) fueron aproximadamente N\$Z 7 000 (o N\$Z 24/ha), más que la propiedad y operación de equipo nuevo avanzado para labranza cero (N\$Z 51 885/año) y aproximadamente N\$Z 14 000 (o N\$Z 46/ha) más que los equipos avanzados para labranza cero usados.

NOTAS

1. La depreciación fue calculada directamente como:

Tractores para labranza: depreciación anual = precio usado menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio)

dividido entre la vida útil remanente (5 años).

Tractor para labranza cero: depreciación anual = precio nuevo o usado menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre vida útil remanente (20 años para nuevo, 10 años para usado).

Otros equipos: depreciación anual = precio nuevo menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre vida útil remanente (20 años para nuevo, 10 años para usado).

2. El interés fue calculado sobre el promedio de las inversiones (precio nuevo o usado más el precio de cambio dividido entre 2) \times 0,09.

- El mantenimiento se tomó de datos publicados (Bainer *et al.*, 1955).
- Los costos de mantenimiento mostrados para el equipo usado son conservadores porque el mantenimiento podría incrementarse con la edad de las máquinas.

Escenario D: economía de conservar el equipo usado para labranza convencional o reclutar un contratista para labranza cero

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivo forrajero de otoño. Los costos de capital asociados antes del pago de los impuestos de equipos usados para labranza comparados con contratación para labranza cero se muestran en el Cuadro 40.

CONCLUSIÓN

- La propiedad del equipo usado para labranza convencional fue más costosa (aproximadamente N\$Z 15 000 por año o 52/ha) que reclutar un contratista con equipo avanzado para labranza cero.

Resumen y conclusiones

Los Escenarios A–B–C–D se resumen en el Cuadro 41.

Cuadro 40 Costos de equipo usado de labranza convencional comparados con la contratación de un operador para labranza cero (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Costos anuales de operación de equipo de labranza usado (de Escenario C)	59 228	
Glifosato en primavera (de Escenario A)	8 250	
Costo anual del contratista, incluidos glifosato y pesticidas (de Escenario A)		51 750
Totales	67 478	51 750
Costo por hectárea	225	172
Diferencia (en favor de labranza cero)		15 728 (52/ha)

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Conclusiones generales

- No hay mayor diferencia entre las comparaciones de equipo nuevo o equipo usado,

Cuadro 41 Resumen de los Escenarios A–B–C–D.

Escenario	Labranza convencional (N\$Z/año)	Labranza convencional (N\$Z/ha)	Labranza cero (N\$Z/año)	Labranza cero (N\$Z/ha)	Diferencias	
					(N\$Z/año)	(N\$Z/ha)
Escenario A (contratistas)	68 250	227	51 750	172	16 500	55
Escenario B (propiedad equipo nuevo)	70 323	234	51 885	173	18 438	61
Escenario C (propiedad equipo usado)	59 228	197	45 145-51 885	150-173	7 343-14 081	24-47
Escenario D (propiedad equipo usado vs. contratista)	67 478	225	51 750	172	15 728	53

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

reclutamiento de contratistas o combinaciones de estas opciones. En todos los casos la labranza cero fue menos costosa que la labranza convencional.

2. En el caso del cultivo de 150 hectáreas anuales fue más económico usar equipos avanzados para labranza cero de cualquier tipo que usar cualquier tipo de equipo de labranza convencional (N\$Z 7 000 a N\$Z 18 000/año, o N\$Z 24 a N\$Z 61/ha).
3. La menor diferencia se encontró en la propiedad del equipo usado para labranza convencional comparado con la propiedad de equipo nuevo para labranza cero (N\$Z 24/ha).
4. La mayor diferencia se encontró entre la propiedad de equipo nuevo para labranza convencional comparada con la propiedad de equipo nuevo para labranza cero (N\$Z 61/ha).
5. Todas las otras comparaciones resultaron en ahorros de aproximadamente N\$Z 50/ha usando labranza cero.
6. El reclutamiento de un contratista para labranza cero con equipos avanzados está muy a menudo acompañado por un alto nivel de experiencia del especialista.
7. El único argumento económico válido para no adoptar la labranza cero avanzada es que el agricultor no disponga de una sembradora avanzada para labranza cero. Es probable que haya rendimientos de los cultivos por debajo de la media, a veces en forma regular, con equipos menos avanzados para labranza cero. La labranza convencional es menos sensible a los equipos menos avanzados.
8. Si un agricultor elige continuar con la propiedad del equipo usado para labranza convencional mientras recluta un contratista con equipo avanzado para ensayar la labranza cero (una práctica razonable), permanecerán los costos de la depreciación y los intereses del equipo de labranza, si bien este equipo no es usado (N\$Z

80/ha, Escenario C). Dado que el gasto por el empleo de un contratista para labranza cero es menor que una opción de labranza convencional (N\$Z 53/ha, Escenario D), el costo neto de ensayar la labranza cero con equipo avanzado durante un año será de cerca de N\$Z 27/ha (N\$Z 80 a N\$Z 53), que es una cifra modesta comparada con la perspectiva de ahorrar de N\$Z 24 a N\$Z 61/año, por cada año después de la adopción de la labranza cero.

Comparaciones europeas

En estas comparaciones, un contratista inglés de labranza convencional proporcionó los datos siguientes de un cliente que cultivó 404 hectáreas anuales. Los datos de la labranza convencional y de la labranza mínima fueron los precios reales cobrados al agricultor en los años precedentes. Las cifras de la labranza cero con equipo avanzado son cotizaciones del año 2004.

Se comparan dos escenarios: labranza convencional con arado *versus* labranza cero y labranza mínima *versus* labranza cero. Los programas de labranza convencional y de labranza mínima se resumen en los Cuadros 42 y 43 y son considerados típicos para muchas propiedades inglesas.

El caso de labranza cero fue para equipos de labranza cero más costosos y avanzados (que aseguran la productividad con, por lo menos, el mismo rendimiento de los sistemas de labranza), tal como se refleja en el costo más alto por hectárea. Como en el caso de las comparaciones en Nueva Zelanda, la sustitución de una sembradora menos avanzada por una sembradora más avanzada para labranza cero podría haber tenido el potencial para reducir los costos de la labranza cero, pero también tuvo el potencial para reducir los rendimientos de los cultivos en labranza cero.

Cuadro 42 Comparación de los costos de labranza convencional y labranza cero en Inglaterra (en £).

	Costo/ha	Área	Total (£)
Máquinas de labranza			
Subsolador con rodillo	31,75	404	12 827,00
Arado	36,00	404	14 544,00
«Cultipress»	14,20	404	5 736,00
Rodillo	10,75	404	4 343,00
Rastra	25,60	200	5 120,00
Fertilización	7,50	404	3 030,00
Combinación de sembradora convencional	29,75	304	9 044,00
Cultivador-sembradora	30,00	100	3 000,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			60 472,80
Máquinas para labranza cero			
Sembradora avanzada para labranza cero	55,00	404	22 220,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			25 048,00
Diferencia			35 420,80
Diferencia por hectárea			87,68/ha

N. del T.: en 2004, aprox. 1 £ = 2,00 \$EE UU.

Cuadro 43 Comparación de los costos de labranza mínima y labranza cero en Inglaterra (en £).

	Costo/ha	Área	Total
Máquinas para labranza mínima			
Subsolador con rodillo compresor	31,75	202	6 413,50
Tren de labranza	35,00	404	14 140,50
«Cultipress»	14,20	404	5 736,80
Rodillo	10,75	404	4 343,00
Fertilización	7,50	404	3 030,00
Cultivador-sembradora	30,00	404	12 120,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			48 611,30
Máquinas para labranza cero			
Sembradora avanzada para labranza cero	55,00	404	22 220,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			25 048,00
Diferencia			23 563,30
Diferencia por hectárea			58,32/ha

N del T.: en 2004, aprox. 1 £ = 2,00 \$EE UU.

Escenario A: comparación de labranza cero con labranza total basada en el arado

Establecimiento de un cultivo de cereales en una finca de 404 hectáreas usando un sistema basado en el arado, comparado con labranza cero avanzada (costo del contratista). Los costos comparativos se encuentran en el Cuadro 42.

Escenario B: comparación de labranza cero con labranza mínima

Establecimiento de un cultivo de cereales en una finca de 404 hectáreas usando un sistema de labranza mínima, comparado con labranza cero avanzada (costo del contratista). Los costos comparativos se encuentran en el Cuadro 43.

Conclusiones

1. Sobre la base de un contratista, la labranza mínima fue más económica que la labranza convencional en £29/ha.
2. Sobre la base de un contratista, la labranza cero avanzada fue más económica que la labranza con arado en £87/ha.
3. Sobre la base de un contratista, la labranza cero avanzada fue más económica que la labranza mínima en £58/ha.
4. Estas comparaciones podrían no ser válidas si se hubieran usado máquinas para labranza cero menos avanzadas.
5. Las comparaciones entre labranza convencional, labranza mínima y labranza cero son dependientes de las máquinas, dado que los modelos para labranza cero tienen el potencial de influenciar marcadamente los rendimientos de los cultivos.

Resumen de algunas comparaciones económicas

1. La comparación económica más común es entre labranza cero y labranza conven-

cional pero tal comparación a menudo induce a error por varias razones y suposiciones.

2. Varios escenarios posibles ofrecen ejemplos económicos de labranza convencional *versus* labranza cero, pero los elementos y cifras requieren cambios para otros países y años.
3. Los costos de las máquinas involucradas con la decisión del cambio de sistema de labranza convencional a labranza cero son un punto muy importante.
4. Mantener la propiedad de las máquinas de labranza por un cierto período después de haber comenzado la labranza cero agrega costos al proceso de transición pero puede ser una elección cómoda y que muchos agricultores se pueden permitir.
5. La economía de utilizar un contratista de labranza convencional o un contratista para labranza cero favorece este último.
6. La economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o de comprar equipo nuevo y avanzado para labranza cero muestra costos de capital similares en ambos casos, pero los costos operativos son significativamente más bajos para labranza cero.
7. La economía de conservar el equipo usado o de comprar equipos nuevos o usados para labranza cero muestra que los costos de capital se reducen a la mitad al comprar equipo de segunda mano, tanto para labranza convencional como para labranza cero, en comparación con equipos nuevos; aquí también los costos operativos favorecen el equipo para labranza cero.
8. La economía de retener el equipo usado de labranza o reclutar un contratista para labranza cero muestra que la propiedad del equipo de labranza usado es más costosa que reclutar un contratista con equipo avanzado para labranza cero.

9. Hay escasa diferencia entre las comparaciones hechas entre equipo nuevo o usado, reclutar contratistas o las combinaciones de estas opciones. En todos los casos la labranza cero fue menos costosa que la labranza convencional.
10. El reclutamiento de un contratista para labranza cero es muy a menudo acompañado por un alto nivel de capacidad técnica.
11. Un agricultor estadounidense que recientemente se convirtió de la labranza convencional a la labranza cero informa que con equipo avanzado para labranza cero se llega siempre a una situación positiva. No solo obtuvo sus mejores rendimientos con labranza cero, sino que ahora usa menos combustible para las tareas del cultivo que para las tareas de la cosecha.

19

Procedimientos para el desarrollo y la transferencia de tecnología

C. John Baker

Medir el comportamiento mecánico de las máquinas para labranza cero es mucho menos importante que medir su comportamiento biológico.

Uno de los aspectos que distinguen los experimentos hechos con máquinas agrícolas para labranza de la tierra es que hay pocas técnicas experimentales comunes e instrumentos estandarizados que puedan ser aplicados universalmente. Los modelos y las funciones de la mayoría de las máquinas agrícolas son bastante diversos; por lo tanto, las técnicas usadas para su evaluación están diseñadas para propósitos específicos y para responder a preguntas también específicas.

Esta situación contrasta, por ejemplo, con experimentos con plantas en los cuales un procedimiento común es su cultivo en macetas o en el suelo, cada una con el tratamiento elegido. Dado que todas las plantas cumplen esencialmente las mismas funciones de utilización de la energía solar y de convertir en biomasa los nutrientes del suelo, de la atmósfera y el agua, en esos experimentos existen numerosos elementos comunes.

En el estudio de los abresurcos, de las sembradoras y de las sembradoras de precisión para labranza cero, los diseños de los investigadores se han dirigido no solo a los resultados sobre el crecimiento de las plantas usan-

do procedimientos experimentales conocidos, sino que se han dirigido también a su comportamiento mecánico y, tal vez más importante, a las interacciones entre infinitas variaciones de los diseños de los componentes de las máquinas y el suelo, los residuos superficiales, las plagas y las plantas.

Aquí se describen algunos de los procedimientos y técnicas experimentales usadas por los autores y sus colegas para investigar sobre las funciones y comportamiento de los componentes de labranza cero y el subsiguiente desarrollo tecnológico, diseños y prácticas de nuevos equipos para labranza cero. Muchas de las técnicas desarrolladas son específicas para labranza cero y deberían ser útiles para investigaciones similares. Algunos experimentos fueron exclusivos mientras que otros siguieron procedimientos comunes ya establecidos.

No se intenta presentar una revisión completa de todas las técnicas usadas en este campo si bien los resultados de muchos trabajos importantes de numerosos investigadores se encuentran en este capítulo. Las descripciones técnicas y los instrumentos presentados se limitan a aquellos usados o diseñados por los autores. Se explican en algún detalle los experimentos realizados ya que fueron diseñados para buscar respuestas a una serie de problemas acerca de la interacción de las plantas y el suelo con las máquinas para labranza

cero y porque en ese momento no había otras metodologías para satisfacer esos objetivos.

Las técnicas y procedimientos descritos hicieron referencia a los siguientes temas:

1. Respuesta de las plantas a los abresurcos para labranza cero en condiciones controladas.
2. El microambiente de las semillas dentro y alrededor de las ranuras en la labranza cero.
3. La compactación y el disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero.
4. Localización de las semillas en el suelo.
5. Recorrido de las semillas dentro de los tubos de los abresurcos para labranza cero.
6. Arrastre de los abresurcos de discos.
7. Pruebas de desgaste acelerado de los abresurcos para labranza cero.
8. Efectos de la colocación del fertilizantes en bandas.
9. Prototipos de sembradoras y manejo de estrategias.

Respuesta de las plantas a los abresurcos para labranza cero en condiciones controladas

A menudo se supone que la mayoría de las semillas germinan y crecen satisfactoriamente si se siembran en un suelo húmedo seguido por condiciones climáticas favorables. Lamentablemente, bajo labranza cero, esta suposición no es siempre correcta. Las primeras experiencias con labranza cero sugirieron que, a medida que las condiciones climáticas se volvían menos favorables, el comportamiento de las semillas, de las plántulas y de las plantas a menudo sufría más que cuando las semillas se sembraban en suelo labrado.

Por lo tanto, fue importante desarrollar un procedimiento básico para evaluar el comportamiento biológico de los diferentes abresurcos para labranza cero bajo condiciones controladas. El objetivo fue crear una situación en la cual los investigadores pudieran enfati-

zar el sistema de labranza cero imponiendo condiciones desfavorables de humedad del suelo seguidas por condiciones climáticas desfavorables, sin el riesgo de un clima impredecible.

La siembra de las semillas en el campo fue considerada poco práctica e imprecisa para controlar la humedad del suelo y el clima. Los refugios convencionales contra la lluvia, hechos de grandes telas móviles transparentes que cubren varias parcelas, eran demasiado costosos y podrían haber limitado los experimentos a un solo lugar. Esto contrastaba con los experimentos de labranza donde el suelo debajo de un refugio puede ser labrado varias veces para repetir varios experimentos en el mismo lugar.

Los investigadores tampoco pudieron colocar las semillas en el lugar correcto en suelos disturbados que habían sido preparados en macetas o bandejas para ser trasladados posteriormente a los invernaderos o a laboratorios con clima controlado. Para los experimentos de labranza cero los suelos tenían que haber estado realmente indisturbados por lo menos durante 12 meses, o preferiblemente más, y permanecer en esta forma a lo largo de todos los experimentos.

Se desarrolló una nueva técnica para transportar suelo sin labrar en recipientes a un lugar cubierto controlado climáticamente. Esto involucró el movimiento de grandes bloques de suelo de 2,0 m × 0,7 m × 0,2 m, que pesaban aproximadamente 500 kg, desde el campo, sin disturbar, sembrar con abresurcos ordenados para duplicar sus funciones en una sembradora de campo o en una sembradora de precisión y controlar el clima y el contenido de humedad después de la siembra durante toda la duración del experimento (Baker, 1969a, 1976a,b).

Para ese transporte se contruyeron recipientes de acero con ambos extremos abiertos. En uno de esos extremos se colocó una cuchilla circular para cortar el suelo, todo lo cual era tirado por un tractor (Lámina 120). La hoja



Lámina 120 Una cuchilla circular para cortar suelo unida a un recipiente para extraer bloques de suelo sin disturbar (de Baker, 1969a).

horizontal de la cuchilla para cortar el suelo era hueca con lugares de salida del material a lo largo de su borde trasero. Se bombeaba agua en la hoja hueca durante la extracción de los bloques de suelo de 500 kg para crear una pasta fina en la parte de abajo de cada bloque y temporalmente lubricarlo para hacerlo resbalar hacia el recipiente de dos metros de largo. La base de cada recipiente fue forrada con una lámina de acero inoxidable para favorecer este proceso de extracción.

En la práctica se encontró que 2 m era la longitud máxima de la capa de suelo sin disturbar de 200 mm de espesor que podía ser extraída sin ser comprimida y tal vez sin romperse. Una profundidad mayor de 200 mm podría haber permitido la extracción de bloques mayores pero los recipientes hubieran sido difíciles de manejar en razón de su mayor peso y tamaño.

Si bien una profundidad de suelo de 200 mm podría no ser capaz de sostener el crecimiento de las plantas por un largo período antes que las raíces alcanzaran la base de acero

inoxidable, todos los estudios que utilizaron estos recipientes se concentraron en las fases de la germinación y de la emergencia de las plántulas del cultivo, ya que fueron consideradas las más críticas para causar dificultades en la labranza cero. También se consideró que la influencia de las máquinas en el crecimiento de las plantas era muy probable que fuera mayor en las fases de germinación y emergencia de las plántulas, después de lo cual podrían ser de menor influencia que otros factores como el clima, el suelo y el efecto del manejo.

El suelo permaneció dentro del recipiente durante cada experimento. Los recipientes fueron transportados desde el campo al laboratorio usando equipo de levantamiento pesado en un tractor (Lámina 121). El contenido de humedad del suelo en cada recipiente fue manejado cubriéndolo con un plástico transparente y dejándolo secar al aire o irrigándolo desde arriba con un irrigador o desde abajo colocando los recipientes perforados sobre canaletas que contenían una cantidad predefinida de agua.



Lámina 121 Transporte de un recipiente con suelo.

Se utilizaron dos procesos para sembrar esos bloques de suelo sin disturbar con distintos abresurcos para labranza cero. Cuando se debían hacer mediciones de los procesos de siembra o se debían probar los abresurcos múltiples en cada recipiente, se adosaron cinco recipientes en una cama levantada de un «recipiente para labranza» con un elemento para llevar herramientas en una plataforma superior que pasaba sobre la línea de recipientes y podía pasar hacia atrás o hacia delante a una infinidad variable de velocidades (de 0 a 8 km/h) (Lámina 122).

La siembra se llevó a cabo en el interior del local y los abresurcos en prueba por lo general se ordenaron espaciados a 150 mm con tres surcos en cada recipiente. Esto dio lugar a 200 mm de distancia entre los surcos exteriores y los bordes de los recipientes. La distancia ligeramente mayor en esta zona fue para evitar el disturbio del suelo en los bordes. Todos los abresurcos fueron montados en brazos de arrastre paralelos unidos a un segundo bastidor. El ángulo vertical fue variable para

alterar el alcance vertical del abresurco para cualquier ordenación geométrica. Se agregaron fuerzas de penetración por medio de pesas a los abresurcos individuales y las fuerzas de arrastre fueron medidas por una célula de carga montada dentro del brazo de arrastre unido al segundo bastidor.

El montaje de los abresurcos se hizo en brazos paralelos y se aplicó la fuerza de penetración por medio de pesas, lo que no fue una duplicación común de la práctica de campo. Las pesas aseguraron que la fuerza de penetración aplicada a cualquier abresurcos permaneciera constante sin considerar su posición en el plano vertical. Pero el objetivo era remover diferencias de las funciones dependientes entre los abresurcos y sus formas de operación para evaluar las diferencias asociadas con su trabajo en el suelo y la forma de las ranuras que estaban creando.

Las semillas individuales fueron colocadas por una sembradora al vacío modificada diseñada por Copp (1961). Dado que la siembra fue por lo general hecha a bajas velocidades,

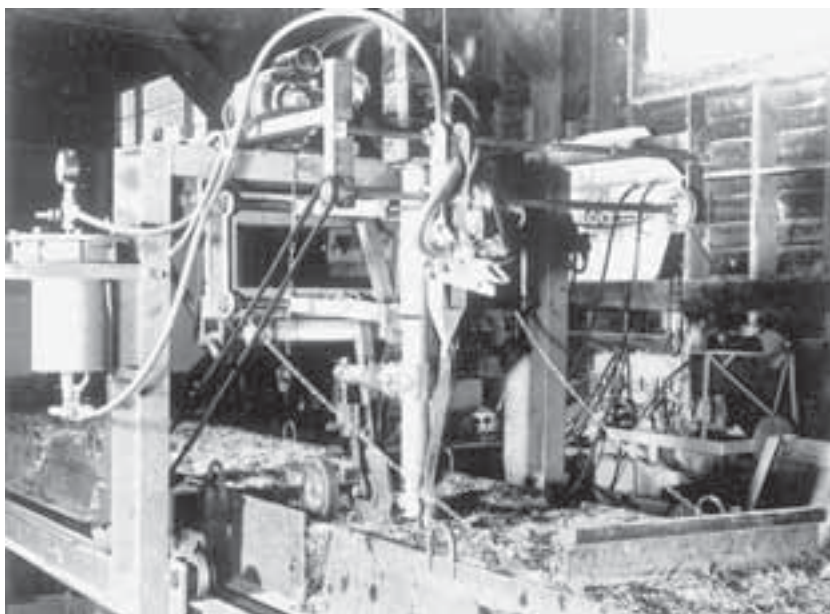


Lámina 122 El «recipiente de labranza» con recipientes de suelo adosados uno a otro y listos para la siembra (de Baker, 1969a).

se hizo un recuento visual de las semillas que entraban en el suelo, observándolas a medida que pasaban por un tubo de plástico transparente. De esta manera, se conoció el número exacto de semillas sembradas para un recuento preciso de su germinación. Dado que el «recipiente de labranza» estaba colocado a una cierta altura del piso, permitió instalar instrumentos desde la parte inferior o detrás del suelo para controlar variables como las fuerzas del suelo verticales y/o laterales resultantes del pasaje de los abresurcos individuales.

En algunos casos fue necesario probar la operación de los abresurcos en la siembra real en el campo. En este caso, la parte final abierta de los recipientes de acero fue empotrada en el suelo, tirada con un tractor y con el cortador de suelo. Después de ello, se pasó un sembrador mientras estaban *in situ* pero evitando el contacto con las paredes de acero de los recipientes. Los recipientes con suelo fueron entonces trasladados a un ambiente con el clima controlado.

El «recipiente de labranza» permitió una medición precisa de cómo diferentes formas de abresurcos y ranuras para labranza cero responden a las distintas condiciones del suelo en lo que se refiere a su capacidad para promover satisfactoriamente la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. Casi todos los experimentos previos de labranza cero habían usado condiciones de campo que resultaban en un establecimiento exitoso, pero estos resultados pueden haber sido función de condiciones favorables del comportamiento mecánico. Mientras que los experimentos de campo sirvieron para demostrar que la siembra bajo labranza cero podía funcionar, era sin embargo necesario identificar y eliminar las causas de los fracasos. Esto requería un control exacto de las condiciones de siembra.

El «recipiente de labranza», en razón de su plataforma móvil, también fue usado para una variedad de experimentos relacionados con el tema. Entre estos se encuentra un estudio de

disipación de las gotas de una aspersión sobre una pastura (Collins, 1970; ver Capítulo 12), el control del espaciamiento de siembra de las sembradoras de precisión (Ritchie y Cox, 1981; Ritchie, 1982; Carter, 1986; ver Capítulo 8) y el trasplante de plántulas de repollo en suelo sin labrar (Pellow, 1992).

El microambiente de las semillas dentro y alrededor de las ranuras en la labranza cero

Para aprender sobre los requerimientos ambientales de las semillas y las plántulas dentro de la ranura y a fin de definir los efectos de los diseños de los abresurcos en las ranuras, se probaron las siguientes variables: i) régimen de humedad del suelo; ii) humedad del suelo-aire; iii) oxígeno del suelo, y iv) temperatura del suelo, en todos los casos dentro de la ranura.

En estos experimentos no se intentó hacer el seguimiento de la presencia de sustancias alelopáticas de los residuos en descomposición o de otras raíces presentes en la ranura, dado que el tema había sido investigado por otros autores (Lynch, 1977, 1978; Lynch *et al.*, 1980). Sin embargo, experimentos posteriores en suelos húmedos hechos por los autores y sus colegas agregaron nuevos conocimientos acerca de los efectos y de cómo podrían ser evitados por medio del diseño de los abresurcos (ver Capítulo 7).

Régimen de humedad del suelo dentro de la ranura

La mayoría de los aparatos no destructivos de la estructura para medir el contenido de agua líquida en las ranuras muestrean volúmenes razonablemente grandes de suelo. Esto es necesario para promediar las variaciones inherentes en volúmenes de suelo relativamente pequeños. La zona de las ranuras que deja el abresurcos para labranza cero representa un volumen relativamente pequeño de suelo, lo

que hace que la supervisión de la fase líquida de la humedad sea particularmente difícil.

Los aparatos basados en bloques de yeso y otros aparatos basados en la absorción trabajan mejor en el extremo del rango de condiciones húmedas y de baja tensión, lo cual los hace inadecuados para experimentar en los suelos secos. Se ensayaron los primeros diseños de sicrómetros para el punto de rocío pero los gradientes de temperatura muy pronunciados en o cerca de la superficie no ofrecían resultados seguros. Eventualmente se recurrió al muestreo gravimétrico destructivo en el cual cilindros de suelo en miniatura (20 mm de diámetro \times 10 mm de largo) se extrajeron de la zona de las ranuras y se secaron en estufa para proporcionar una medida de la fase líquida del contenido de humedad del suelo sobre la base de la diferencia de peso. Después que se realizaron estos experimentos se han fabricado otros equipos más desarrollados.

La investigación ha mostrado que la fase líquida del contenido de agua del suelo en y alrededor de las distintas formas de ranuras no presentaba mayores diferencias, por lo menos a corto plazo, aun cuando había marcadas diferencias en la emergencia de las plántulas en suelos relativamente secos. Si bien al principio esta pareció ser una situación anómala, se consideró que una investigación exhaustiva de otros aparatos alternativos para medir la fase líquida de la humedad del suelo no se justificaba. En todo caso, la atención cambió a la medición de la humedad de la ranura o a la fase de vapor del agua del suelo.

Humedad del suelo-aire dentro de la ranura

La física del suelo muestra que la atmósfera (aire) en los macroporos y huecos del suelo está en equilibrio con la presión de vapor del agua líquida contenida en los poros del suelo que la rodea. A una temperatura dada la fase de vapor en esos espacios representa la humedad del suelo-aire. Desde el momento que

la temperatura del suelo a la profundidad de siembra no cambia rápidamente y es fácilmente medida, la humedad del suelo se ha considerado una forma confiable de medir la presión de vapor de agua de la atmósfera del suelo.

Choudhary (1979) fue el primero que controló la humedad del suelo-aire dentro de las ranuras para labranza cero usando un aspirador para retirar lentamente aire de la ranura y pasarlo a un higrómetro de punto de rocío para una lectura directa de la humedad relativa de la muestra. Si bien este método proporcionó resultados interesantes, los investigadores eran concientes de que la remoción del aire de la ranura resultaba inevitablemente en su reemplazo con aire tomado predominantemente de la atmósfera encima de la superficie del suelo. De esta manera, las muestras de aire de las ranuras reflejaban solo parcialmente el contenido de humedad dentro de la ranura.

La precisión del método descansaba en la tasa de remoción del aire de la ranura y la resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura que controlaba la tasa de aire atmosférico reemplazado que era removido. Por ejemplo, una alta resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura podría dar lugar a que la muestra de aire removida de la ranura fuera reemplazada por aire de un punto más distante de la ranura; por otro lado, una baja resistencia a la difusión podría contener una mayor proporción de aire atmosférico. Más adelante, esta resistencia a la difusión fue identificada como una variable importante en la sobrevivencia de las semillas y de las plántulas pero, además, también se encontró un método que muestreaba la humedad relativa *in situ* sin remover el aire de la ranura.

Para la lectura directa de la humedad se insertó una sonda modificada en la ranura hasta que estuviera en equilibrio con la atmósfera sin disturbar de la ranura, por lo menos durante 2 minutos. La sonda seleccionada había sido diseñada originariamente para controlar la humedad relativa entre las hojas de papel

para periódicos y, como tal, era de forma plana y fina. Se removió su punta y en la misma se envolvió un filtro de fibra de vidrio a fin de prevenir que el suelo cayera dentro de la parte de la sensitiva de la sonda. La Lámina 123 muestra una sonda de humedad que se inserta en un suelo seco no labrado, que está colocado en una cámara con clima controlado. El filtro queda en el suelo cuando se retira la sonda y no es reutilizado.

Este método proporcionó una lectura directa de la humedad relativa, cercana a la que tenían las semillas dentro de la ranura. La información recogida con esta técnica tuvo repercusiones a largo plazo. Los experimentos mostraron que las semillas en el sistema de labranza cero podían germinar en una atmósfera con alto contenido de humedad dentro de la ranura, sin necesidad de acceder a cantidades importantes de agua en fase líquida, un hecho que fue confirmado posteriormente por Martin y Thrailkill (1993) y Wuest (2002).

Más importante aun es haber determinado que las plántulas debajo de la superficie podían sobrevivir debajo del suelo por varias semanas con un 100 por ciento de humedad relativa, o cerca de ese valor. Se demostró que la última observación era una función de la resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura y el gradiente de humedad entre el aire de la ranura y el ambiente fuera de la misma. La cobertura de la ranura era una función de su forma, de la presencia de residuos en la superficie sobre la ranura y del diseño del abresurcos.

El hecho de supervisar la atmósfera de la ranura era importante pero la capacidad de controlar y variar esa humedad para los objetivos de la investigación es algo diferente. Las cubiertas para la protección contra la lluvia no fueron satisfactorias dado que fueron incapaces de alterar la humedad del ambiente durante el día. Utilizando una multisala con clima controlado, los bloques de 500 kg de suelo en los recipientes de acero fueron



Lámina 123 Muestreo de la humedad del suelo en el campo.

transportados en grupos de tres a las salas de clima controlado después de la siembra. Cada sala tenía un clima artificial en el cual podían ser controlados la temperatura, la humedad, la intensidad de la luz, el espectro lumínico, la duración de las horas de luz del día, los nutrientes y, si era necesario, la dirección y velocidad del viento. De esta manera, fueron variados los efectos de los altos y bajos niveles de humedad ambiental y/o las temperaturas y se midieron los efectos sobre el establecimiento de las plántulas (ver Capítulo 6).

Oxígeno del suelo dentro y alrededor de la ranura

La principal consecuencia de que un suelo con labranza cero se vuelva muy húmedo después de la siembra es la restricción del abastecimiento de oxígeno a las semillas en germinación y a las raíces embrionales. Un suelo labrado es aflojado artificialmente, lo cual en algún momento exagera la actividad del oxígeno alrededor de las semillas. En un suelo sin labrar las semillas dependen casi exclusivamen-

te de la capacidad del suelo para permanecer adecuadamente oxigenadas en su estado natural. Para probar varios diseños de abresurcos y su capacidad para proporcionar distintas condiciones de oxígeno con condiciones de suelo húmedo, se consideraron las variables de la tasa de difusión del oxígeno, las lombrices de tierra y las temperaturas del suelo.

Varios investigadores han descrito una técnica para medir la difusión del oxígeno consistente en empujar un pequeño electrodo de platino en el suelo y medir la corriente que pasa entre ese electrodo y un electrodo de referencia. La corriente tiene el efecto de reducir el material electro-reducible, en este caso el oxígeno, en la superficie del platino. La cantidad de corriente es gobernada por la tasa de difusión de oxígeno desde dentro del suelo a la superficie del electrodo y de esta manera da una indicación de la tasa de difusión de oxígeno dentro del suelo.

La mayoría de los investigadores concuerdan con que los valores de la tasa de difusión de oxígeno obtenidos con los electrodos de

platino son solamente una aproximación de lo que podría suceder a una raíz; sin embargo, esta técnica proporciona una medida relativa de la diferencia entre las distintas condiciones del suelo. Las ventajas de esta técnica son su economía, no es destructiva, es rápida, simple y capaz de muestrear zonas muy pequeñas de suelo cerca de la ranura.

Chaudhry (1985) muestreó la tasa de difusión de oxígeno en un modelo de rejilla alrededor del área basal de diferentes ranuras en un suelo húmedo; usó un programa de ordenador para trazar líneas de isotasas de difusión de oxígeno que reflejaron los distintos regímenes de oxígeno generados por el pasaje de los abresurcos para labranza cero y por la presencia o ausencia de residuos superficiales y de lombrices de tierra (ver Capítulo 7).

La actividad de las lombrices de tierra fue probablemente un contribuyente importante al oxígeno del suelo dentro de la ranura. Mai (1978), Chaudhry (1985) y Giles (1994) controlaron el número de lombrices de tierra presentes en la parcela general del suelo y en aquellas alrededor de la ranura de las semillas. Se extrajeron núcleos cilíndricos de suelo de las ranuras y se contó y pesó el número de lombrices. Chaudhry también controló la actividad de las lombrices en la superficie del suelo estimando el porcentaje en una cierta área cubierta con sus deyecciones, conocido como «índice de deyecciones».

La infiltración del agua en la zona de las raíces fue otro factor potencial para el intercambio de oxígeno. Las tasas relativas de infiltración fueron controladas por medio de cajas de metal («infiltrómetros») insertados en la superficie del suelo y centradas sobre las ranuras (Chaudhry, 1985; Baker *et al.*, 1987).

Comparaciones exhaustivas sobre la temperatura fueron hechas por Baker (1976a) en varias configuraciones de parcelas. La temperatura es relativamente fácil de medir en zonas limitadas usando termómetros en miniatura o termocuplas electrónicas. Las lecturas rápidas fueron hechas con termómetros de

mercurio mientras que las termocuplas fueron usadas para lecturas continuas como las fluctuaciones ambientales diurnas.

Compactación y disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero

Durante largo tiempo se pensó que un resultado lógico de los abresurcos para labranza cero que operan sobre tierras sin labrar podría haber sido la compactación progresiva y un crecimiento restringido de las raíces en la zona de las ranuras. Por esa razón, varios estudios se centraron en la supervisión de estos aspectos. Los parámetros medidos fueron: i) resistencia del suelo; ii) presión instantánea del suelo (estrés); iii) desplazamiento instantáneo y permanente del suelo; iv) densidad del suelo, y v) alisado.

Resistencia del suelo

La resistencia del suelo es generalmente evaluada midiendo la fuerza necesaria para empujar una sonda («penetrómetro») en el suelo. Para asemejar a la acción de las raíces, el extremo de la sonda es de forma cónica de modo que su fuerza se disipa en forma radial y longitudinal. Tales sondas son, por lo general, diseñadas para muestrear grandes volúmenes de suelo y, en razón de la homogeneidad natural del suelo, la repetición del muestreo con la misma sonda es una operación común.

Para obtener beneficios del sondaje múltiple del suelo dentro de los límites de la zona de ranuras fue diseñado un penetrómetro en miniatura con puntas múltiples (Dixon, 1972; Baker, 1976a; Baker y Mai, 1982b). Este aparato tenía 20 sondas de acero inoxidable de un milímetro de diámetro montadas en una barra horizontal, de tal forma que la posición vertical de cada sonda con respecto a la barra

podía ser ajustada y fijada individualmente. La barra podía ser angulada en cualquier posición deseada, horizontal o vertical, y fue unida a una barra con rosca que actuaba como mecanismo de empuje junto con un aro sensitivo para medir la fuerza (o «aro de prueba»). Se usaron dos aparatos diferentes para medir

el desplazamiento y registrar los cambios de diámetro del aro. Al principio fue suficiente un micrómetro pero en las últimas pruebas fue sustituido por un sensor de presión de desplazamiento para facilitar el registro de los resultados. El penetrómetro de puntas múltiples se encuentra en la Figura 47.

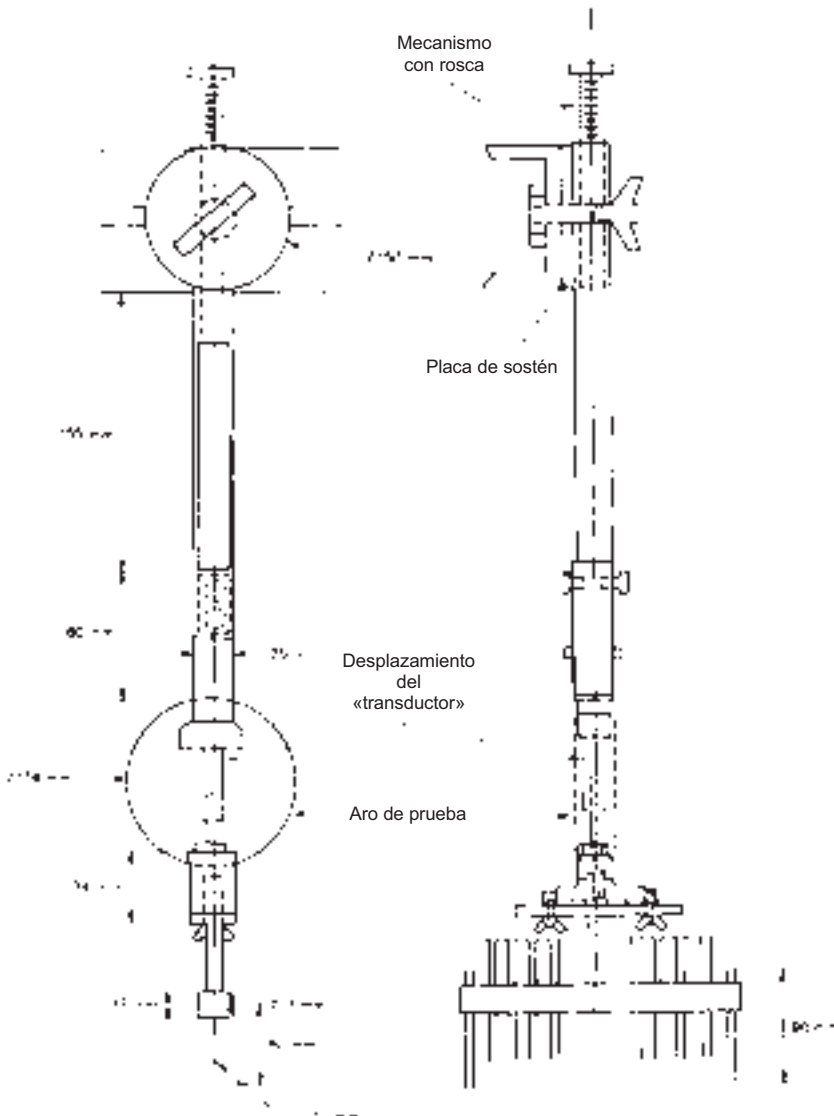


Figura 47 Un penetrómetro con puntas múltiples unido a un «aro de prueba» de un aparato para medir la fuerza (de Baker y Mai, 1982a).

Dado que los suelos, en cierta medida y por varios segundos, tienden a fluir como un cuerpo plástico después que se inserta una sonda rígida, fue necesario insertar las sondas a una velocidad constante y predeterminada y leer la fuerza aplicada a intervalos regulares después que se detuvo la penetración a la profundidad deseada (cuando había cesado el flujo plástico). Las sondas fueron insertadas rotando la barra con rosca a una velocidad constante de penetración, para lo que se usó un motor eléctrico de baja velocidad, desconectado inmediatamente después de alcanzar la profundidad deseada y se esperó 10 segundos antes de leer la escala.

Para ajustar las irregularidades de la superficie del suelo, la barra portasondas fue colocada paralelamente a la superficie elegida y cada sonda fue insertada a través de la barra hasta que hizo un ligero contacto con la superficie del suelo, momento en que fue ajustada a la barra. Fue necesario asegurarse de que hubiera un igual número de sondas en cada lado de la barra con rosca central, que hicieran contacto con el suelo para asegurar, en la medida de lo posible, la simetría de las fuerzas con relación al punto central cuando todas las sondas eran empujadas en el suelo. Incluso en estos casos, una sonda podía ocasionalmente tocar una piedra y distorsionar sensiblemente la simetría; en ese caso la lectura se descartaba.

Usando el recipiente para ensayos de labranza descrito anteriormente, el penetrómetro de puntas múltiples fue insertado desde varias direcciones: i) desde encima de la tierra para probar la resistencia del suelo, verticalmente y hacia abajo en la base de las ranuras (Baker y Mai, 1982b); ii) desde una perpendicular a las paredes de las ranuras (Mai, 1982b); iii) desde debajo del recipiente empujando hacia arriba para medir la resistencia de la cobertura de la ranura a la emergencia de las plántulas (Choudhary, 1979), y iv) perpendicular al corte de la parte final de los recipientes para probar la resistencia del suelo en un modelo de parrilla alrededor de un corte de las ranuras (Mitchell, 1983).

El penetrómetro no pudo ser usado en el campo debido a que su alta sensibilidad requería una base muy estable desde la cual ejercer la fuerza de penetración. En realidad, esta podía ser ofrecida por el recipiente sobre un piso de cemento. Aun así, una persona apoyada en uno de los recipientes podría causar la torcedura del lector del penetrómetro.

Presión instantánea del suelo (estrés)

A medida que el abresurcos pasa a través del suelo se crean presiones para moverlo hacia los lados, con múltiples consecuencias potenciales, desde la compactación hasta el alisado. Estas presiones fueron medidas usando un diafragma de presión especialmente diseñado (Mai, 1978). Un pequeño tubo de bronce de 9,5 mm de diámetro tenía un diafragma de goma en un extremo; en el otro extremo tenía unido un sensor de presión en miniatura. El tubo se llenó con agua para que actuara como un líquido no comprimible y una pequeña válvula de purga para expeler el aire. Estos tubos fueron insertados en agujeros en las paredes y en la base de los recipientes de acero en agujeros ajustados hechos previamente en el suelo para colocar la posición del diafragma de goma en contacto íntimo con el suelo a una distancia preestablecida (cerca de 10 mm) del lugar de paso esperado del abresurco para labranza cero que se deseaba probar.

Dado que cada abresurcos pasaba por un recorrido bien controlado en el recipiente de acero fue posible predeterminar con seguridad la posición lateral de los aparatos para medir la presión del suelo. La profundidad de penetración de cada abresurcos era bastante predecible usando ruedas comunes para medir la tierra en cada abresurcos, ya que la superficie de cada recipiente no terminaba exactamente a la misma distancia de la base del recipiente durante el proceso de extracción en el campo. Por ello, se concedió una mayor flexibilidad a la posición vertical.

Aun así, los tubos llenos de agua fueron usados para proteger los costosos sensores de presión en miniatura en caso de que hubiera contactos mecánicos con el abresurcos en su paso. Los tubos de bronce y sus diafragmas de goma fueron considerados como descartables en el caso de un accidente pero no los costosos sensores. La Figura 48 muestra dicho tubo. De esta manera, los estreses instantáneos y contrastantes del suelo creados por los distintos tipos de abresurcos en un suelo sin labranza fueron supervisados y registrados (Baker y Mai, 1982a).

tes de prueba de labranza (Mai, 1978). Un hilo no elástico liviano fue unido a un extremo de cada sonda y en el otro extremo se colocó un pequeño sensor electrónico de desplazamiento que registraba el desplazamiento horizontal instantáneo del suelo a medida que pasaba el abresurcos y el desplazamiento permanente después de su paso. Los datos sobre el desplazamiento dieron la medida de la dirección en la cual el abresurco desplazaba el suelo así como también de la plasticidad del suelo y de cómo este había respondido a la acción mecánica de ese abresurco en particular.

Desplazamiento instantáneo y permanente del suelo

Este desplazamiento fue medido colocando pequeñas sondas verticales en el suelo a distancias predeterminadas sobre el posible lugar de paso del abresurcos en los recipientes

Densidad del suelo

La densidad del suelo fue medida extrayendo pequeños núcleos de suelo (10 mm × 10 mm) en la zona de las ranuras en un lugar y posición requeridos por el experimento específico (Mai, 1978; Chaudhry, 1985). Los

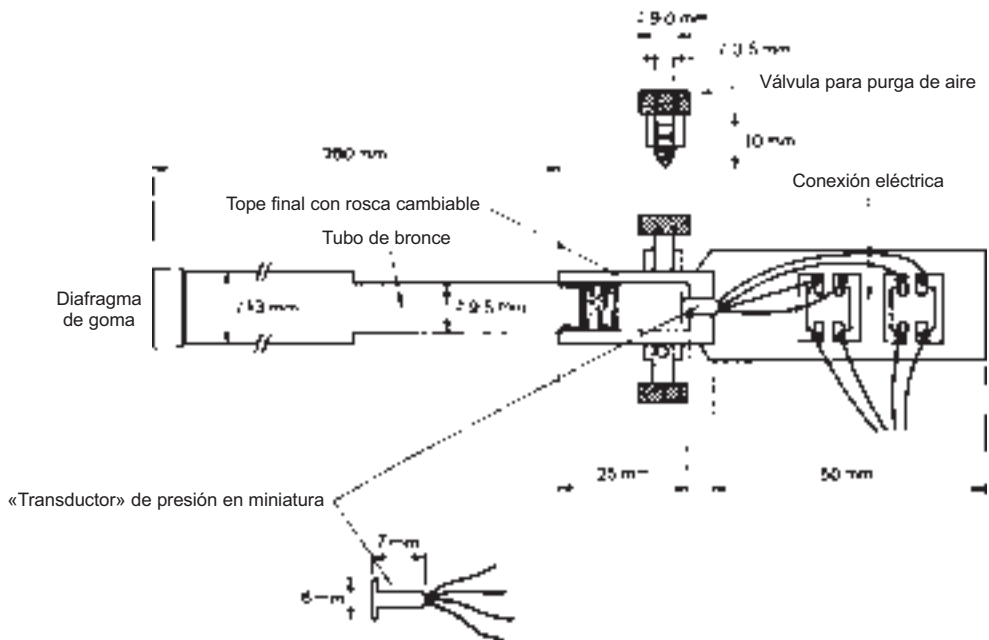


Figura 48 Tubo para medir la presión del suelo (de Baker, 1969a).

núcleos se pesaron y se siguió un procedimiento estándar para calcular la densidad del suelo como peso por unidad de volumen de suelo.

Alisado y compactación

Este parámetro fue difícil de cuantificar con precisión ya que el alisado en particular está limitado a una capa de menos de un milímetro de espesor. De cualquier manera, se determinó que el alisado solo afectaba el crecimiento de las raíces cuando se secaba y encostraba. Otros parámetros ambientales determinan el secado de las ranuras, como se ha descrito anteriormente. Por esta razón, no se desarrolló un método directo para cuantificar el alisado con precisión. Aparentemente, la diferencia entre una capa de alisado y una capa de compactación es solamente una diferencia de espesor.

Localización de las semillas en el suelo

Para el diseño de las sembradoras y las sembradoras de precisión se consideraron tres aspectos importantes de la posición de las semillas en el suelo (Ritchie, 1982): i) espaciamiento a lo largo del surco; ii) profundidad de siembra, y iii) posición lateral en relación a la línea central de la ranura.

Espaciamiento de las semillas

La medición del espaciamiento de las semillas es relativamente simple, por lo menos si no se considera la posibilidad de que las semillas salten en la ranura u otros factores del suelo como los terrones. Una medición precisa se puede hacer por una siembra simulada, la cual se hace moviendo la sembradora sobre una lámina adhesiva de modo que las semillas que caen de la sembradora se fijan inmediatamente a medida que la máquina avanza.

El recipiente para pruebas de labranza y la plataforma descritos anteriormente son ideales para esta función (Ritchie, 1982; Carter, 1986). El espaciamiento de las semillas también puede ser determinado directamente midiendo la distancia entre las plántulas emergidas. Este último método no considera el desplazamiento de los tallos de su posición original (por ej., doblados a causa de terrones o piedras) o la fallas en la germinación de las semillas o en la emergencia de las plántulas.

Profundidad de la siembra de las semillas

La medición de la profundidad de siembra de las semillas es un problema difícil y engañoso. Obviamente, la posición de las semillas en el plano vertical en el suelo solo puede ser determinada después que han sido sembradas, a diferencia del espaciamiento horizontal de las semillas que puede ser simulado sobre una superficie adhesiva y sin que el abresurcos tenga que penetrar en el suelo.

El problema radica en que, cuando el investigador excava el suelo en busca de las semillas, inevitablemente son movidas las otras semillas circundantes. En los últimos años los investigadores han usado uno de los siguientes enfoques:

Excavación manual (Hadfield, 1993; Thompson, 1993)

A pesar de las desventajas de este método, una excavación cuidadosa del suelo, en el campo, para descubrir las semillas es aún el método más común. Este método tiene el problema que es difícil cuantificar y corregir los errores. En los suelos labrados, se observan las semillas desde arriba; en la labranza cero, en el suelo sin disturbar y dada la relativa estabilidad de algunos suelos y ranuras, en algunos casos es posible abrir una ranura paralela y observar las semillas lateralmente, lo cual reduce el riesgo de mover otras.

Muestreo con cuchara

Un núcleo semicilíndrico horizontal de suelo sin disturbar, centrado en una ranura sembrada, se remueve con una cuchara de diseño especial y la muestra se abre en el laboratorio para exponer las semillas a la vista (Baker, 1976a). Esta técnica puede ser usada solamente en suelos sin disturbar porque los suelos labrados son demasiado friables y los núcleos se rompen. Este método es algo más preciso que la excavación manual desde arriba porque se llega lateralmente a las semillas. También es más conveniente que el muestreo de campo hecho lateralmente porque el operador trabaja en su mayor parte en el laboratorio y las muestras pueden ser apoyadas sobre sus lados sobre el banco de trabajo. Esta técnica toma trozos de surco relativamente limitados, los transporta al laboratorio e insume más tiempo que otros métodos. Es más útil para localizar y contar las semillas y las plántulas en una longitud dada de surco que para registrar con precisión sus posiciones en relación con la superficie del suelo.

Seguimiento de las plántulas

Después de la emergencia de las plántulas es posible hacer un seguimiento a partir de las hojas hasta establecer la posición original en el suelo de las semillas sembradas (Stibbe *et al.*, 1980; Pidgeon, 1981; Allam y Weins, 1982; Choudhary *et al.*, 1985). Este procedimiento ha sido mecanizado para registrar automáticamente las mediciones de un número relativamente grande de plántulas. Sin embargo, dado que solamente mide las plántulas emergidas no registra la posición de las semillas que no han emergido. La identificación de las semillas no germinadas en el suelo para los estudios de labranza cero también fue uno de los objetivos más comunes, pero esta técnica ha tenido una aplicación limitada.

Imágenes de las semillas con rayos X

Recubriendo las semillas con óxido rojo de plomo (un repelente de pájaros de uso común)

antes de la siembra pueden ser registradas imágenes de las semillas de muestras de suelo tomadas en el campo en cajas metálicas usando un equipo de rayos X de uso veterinario (Campbell, 1985; Choudhary *et al.*, 1985; Praat, 1988; Campbell y Baker, 1989; D. de Kantzow, 1985, 1993, comunicación personal). Las cajas pueden ser de aluminio o de acero ya que los rayos X pasan esos metales sin dañar la imagen. La técnica no es perjudicial para las semillas (germinan después de la aplicación de los rayos X) e identifica positivamente las semillas debajo del suelo sin disturbarlas. Tampoco es afectada por el tipo de suelo, el contenido de humedad o los niveles de materia orgánica, pero, en general, es más adecuado para semillas grandes y para un número relativamente limitado de muestras porque insume tiempo y es algo costoso.

Los rayos X se derivan de un punto de origen en la máquina que los genera; a medida que los rayos X escrutan una muestra, se crea un error de paralaje en todas las posiciones excepto en aquellas que están exactamente debajo del punto de emisión. Este error de paralaje se acentúa hacia las extremidades de la muestra y afecta la precisión en la cuantificación de las distancias entre las semillas individuales o entre las semillas y la superficie del suelo. Campbell (1985) definió una corrección matemática de este error. También usó una faja de plomo para soldaduras para indicar la posición de la superficie del suelo en los rayos X. La Lámina 124 muestra semillas de arvejas revestidas con óxido de plomo, sometidas a rayos X debajo del suelo, después de la siembra.

Posición lateral de las semillas en relación a la línea central de la ranura

Tal como ocurre con la profundidad de las semillas, la búsqueda manual de la posición lateral de las semillas después que han sido sembradas presenta problemas que surgen de la posibilidad de su desplazamiento involuntario

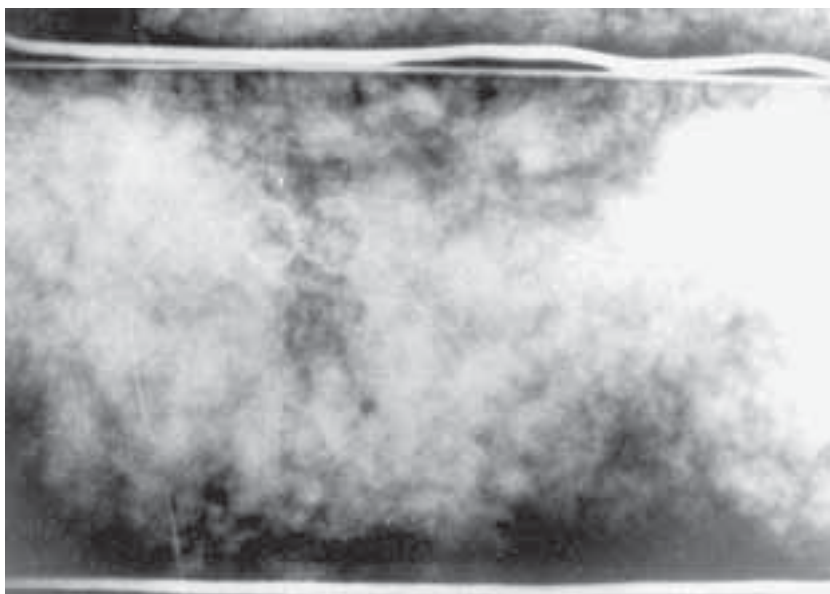


Lámina 124 Semillas de arvejas revestidas con óxido de plomo sometidas a rayos X después de la siembra (de Campbell y Baker, 1989).

antes de poder registrar sus posiciones. En las pocas ocasiones en que se estudió este parámetro se usaron muestreos con cuchara e imágenes de rayos X.

Hasta la fecha no ha sido diseñado un método satisfactorio para identificar positivamente, en forma económica y repetible, la posición final tridimensional de las semillas en el suelo. Tal vez esta sea la razón por la cual la mayoría de los diseñadores de abresurcos y de sembradoras parecen estar satisfechos con definir cuán bien siguen sus abresurcos la superficie del suelo, con la asunción implícita de que la colocación final de las semillas está únicamente relacionada con esta capacidad.

Recorrido de las semillas dentro de los abresurcos para labranza cero

El recorrido que deben hacer las semillas desde y a través de los abresurcos para labran-

za cero es mucho más tortuoso y menos predecible que el de las semillas en abresurcos simples para suelos labrados. Por esta razón, ha sido importante estudiar el recorrido de las semillas y analizar las causas del bloqueo o disrupción del flujo.

Todas las técnicas adoptadas por los autores han involucrado el uso de videocámaras y su visión en cámara lenta. Ritchie (1982) estudió la descarga de las semillas de sembradoras de precisión junto con varios tubos de entrega, para lo que registró las semillas con una videocámara a medida que caían. Calculó el tiempo entre el pasaje de las semillas sucesivas delante de una rejilla y las variaciones potenciales resultantes del espaciamiento horizontal a lo largo del surco. La grabación fue analizada en cada toma frente a una rejilla calibrada sobre la base de la distancia y el tiempo. La Lámina 125 muestra el estudio del momento de la eyeción de la semilla usando la plataforma del recipiente de labranza como fuente del movimiento de la sembradora.

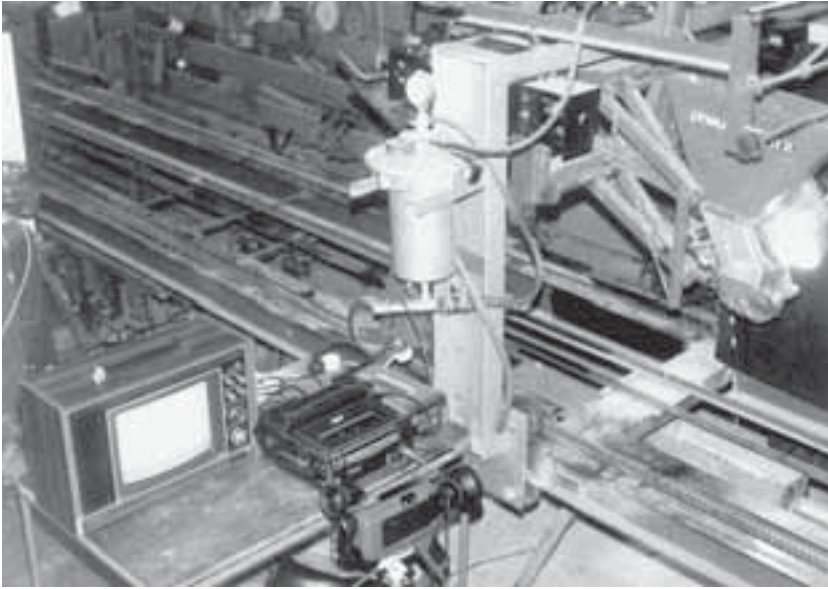


Lámina 125 Filmación de la eyección de semillas de un abresurcos para labranza cero. A la derecha de la lámina se observan cuatro semillas de maíz cayendo desde la sembradora de precisión.

Un estudio de semillas dentro de la versión de disco de un abresurco de ala sustituyó el disco normal de acero por un disco de plexiglás para poder observar el paso de las semillas a través del disco transparente. Este abresurcos es bastante particular ya que la mayor parte del recorrido interno de las semillas ocurre en un tubo de tres lados cercano a un disco giratorio. La rotación del disco forma una pared en este tubo de entrega y se mueve continuamente. Los investigadores deseaban estudiar la influencia de esta pared móvil y la forma geométrica de las paredes fijas sobre la caída y eyección de las semillas desde el abresurcos. La Lámina 126 muestra el flujo de las semillas en ese abresurcos.

Hasta ahora no se ha encontrado una técnica satisfactoria para observar las semillas a medida que salen del abresurcos debajo del suelo, si bien el conocimiento de ese proceso podría contribuir en forma importante a diseñar abresurcos con una mejor eyección de las

semillas y control de la profundidad de siembra. La aparición de endoscopios y laparoscopios ofrece una posibilidad atractiva si bien el polvo en la lente durante la operación debajo del suelo parece ser inevitable y, por ejemplo, su remoción con un chorro de aire podría interferir con el mismo proceso de eyección de las semillas. De cualquier manera, existe el potencial para hacer diseños innovadores para satisfacer este objetivo.

Arrastre en un abresurco de disco

La versión de disco de los abresurcos de ala opera basada en el principio de un disco central vertical con varios componentes que rozan a este, lo que crea un efecto de arrastre sobre el disco y opone resistencia a su rotación. El contacto del disco y algunos de esos componentes, por ejemplo, con las hojas a la

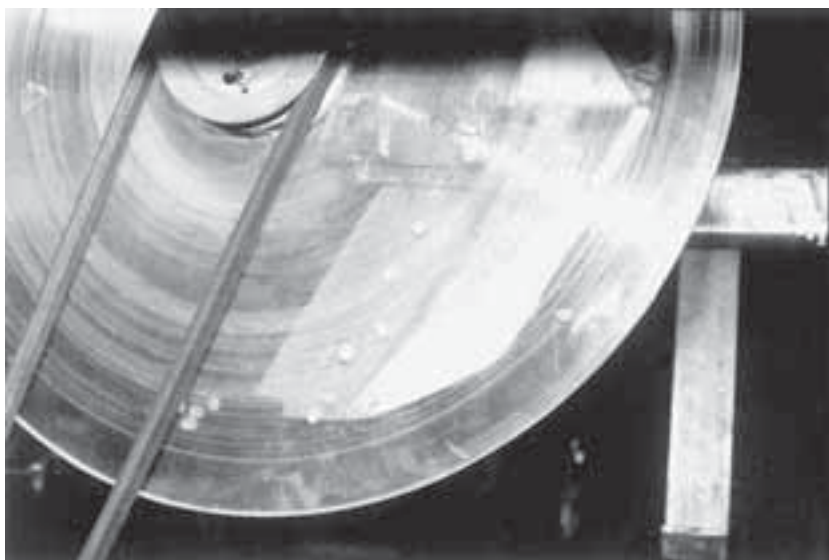


Lámina 126 Flujo de semillas observado a través de un disco transparente de plexiglás.

izquierda y a la derecha con funciones de raspadores, es fundamental para las funciones de manejo de residuos y para la colocación de las semillas por el abresurcos. De esta manera hay una continua e ininterrumpida rotación del disco. Esto también es importante para poder cuantificar la magnitud de las distintas fuerzas de arrastre y torsión que se oponen a la rotación continua del disco, que son innecesarias y podrían ser eliminadas y aquellas que son útiles y podrían ser minimizadas.

El método adoptado consistió en el diseño de un banco especial de prueba en el cual un solo abresurco fue montado de tal manera que permitía que cada uno de los componentes que contribuían al arrastre de torsión fuera unido individualmente y pudiera ser removido sin afectar la función del abresurco (Javed, 1992). El banco de prueba con el abresurco unido fue tirado a través de varios suelos a una velocidad constante y conocida. El disco tenía un freno de disco de motocicleta modificado que podía detenerlo de modo que resbalara totalmente en el suelo. La fuerza requerida para llegar a cualquier grado intermedio y

predeterminado de frenado del disco fue registrado por un sensor electrónico de fuerza montado entre el freno de disco y el bastidor del banco de prueba. La velocidad del disco, en revoluciones por minuto, fue indicada por un taquímetro y fue directamente proporcional al deslizamiento hacia adelante del disco en el suelo a cualquier velocidad. La Lámina 127 muestra el banco de prueba de arrastre del disco y el abresurco.

El disco libre, o sea, sin ningún componente de arrastre de torsión, fue primeramente frenado a una velocidad predeterminada que representa una cierta medida de resbalado del disco en el suelo. Después, cada uno de los componentes que se suponía que agregaban torsión de arrastre fue unido individualmente al abresurcos y se midió la fuerza residual de frenado necesaria para obtener el mismo resbalado del disco. La diferencia entre esta y la lectura original representó la torsión de arrastre del disco que se podía atribuir al componente agregado. La variabilidad del suelo que originó las fuerzas de tracción del disco requirió que se hiciera un gran número



Lámina 127 Banco de prueba para registrar el arrastre del disco de un abresurco para labranza cero.

de observaciones a fin tener suficiente precisión en los resultados. Estas pruebas fueron hechas usando un recolector electrónico de datos de alta velocidad que registró cerca de 10 000 lecturas por prueba.

Pruebas aceleradas de desgaste de abresurcos para labranza cero

La versión de disco del abresurco de ala fue bastante diferente de otros abresurcos de sembradoras, tanto en suelos labrados como en labranza cero. En realidad había conocimientos limitados acerca del desgaste de los componentes esenciales, si bien Badger (1979) había estudiado aspectos del desgaste en abresurcos de ala simples. Los dos puntos más importantes de desgaste de este abresurcos fueron considerados el desgaste metal-suelo en el exterior de las láminas laterales y sus alas y el desgaste metal-metal entre esas láminas laterales y el disco rotatorio.

Sin duda, no había sido determinado aún si las hojas laterales realmente rozaban sobre el disco (contacto metal-metal) o eran ligeramente separadas del mismo por una fina capa de suelo que pasara entre los dos componentes; en ese caso se trataría de un contacto metal-suelo-metal. El problema de un posible contacto entre los lados de las láminas y el disco era importante porque, si no había contacto directo, esto permitiría que las láminas fueran fabricadas de un material considerablemente más resistente al desgaste. Si hubiera habido contacto directo, los lados duros de las láminas podían haber erosionado los discos, lo cual hubiera sido inaceptable.

Se desarrolló una nueva técnica para examinar ambos problemas (Brown, 1982; Brown y Baker, 1985). Un abresurcos simple fue armado de tal manera que aislara eléctricamente las láminas laterales del disco; este fue operado en el suelo con contactos conectados al disco y a las láminas laterales por medio de una batería de 12 voltios para completar el circuito cuando hacían contacto y eran registrados por un

medidor o la resistencia de una lámpara. En los suelos ensayados una película fina de suelo aisló continuamente las láminas del disco. Otras experiencias siguientes en el campo confirmaron que la dureza de las láminas no tenía efecto sobre la duración y la integridad de la cara del disco y que los tipos de abrasión en el disco y en el interior de las láminas eran consistentes con el desgaste metal-suelo-metal.

En cualquier caso, la película fina de suelo desgasta ambos componentes en esta interfase. Para acelerar las pruebas de desgaste y buscar estrategias alternativas para prolongar la vida de las láminas laterales fue desarrollada otra técnica. El abresurcos fue modificado de modo que el eje del disco podía recibir la fuerza de un motor que causaba su rotación cuando el abresurcos estaba detenido. El abresurcos modificado fue armado de modo que la base del disco y las láminas quedaran inmersas en una caja abierta de suelo desmenuzado (en un caso en forma pastosa) a la profundidad normal de siembra. Las láminas laterales se sujetaron contra el disco por medio de elásticos para simular

las fuerzas recibidas en el campo cuando el abresurcos avanzaba. El banco de pruebas se dejó funcionando continuamente por largos períodos para registrar el modelo de desgaste en la interfase entre las láminas y el disco. La Lámina 128 muestra la caja de desgaste acelerado y el abresurcos en prueba.

Cuando se estudiaron modelos de desgaste normal en el campo en la parte exterior de las láminas y las alas (desgaste suelo-metal) no hubo ningún sustituto para la siembra continua en el campo. Por definición, los abresurcos debieron trabajar continuamente en suelo sin disturbar; por lo tanto, la repetición de la resiembra en la misma área no era una opción posible. En una prueba, se construyó una sembradora de un surco y se sembraron 16 hectáreas de tierra sin disturbar en surcos simples. El abresurcos recorrió cerca de 500 km, cubrió 225 hectáreas de siembra continua con una sembradora de 4,5 m de ancho. El desgaste de los distintos tratamientos de las láminas fue medido en sus dimensiones y por la pérdida de peso (Brown, 1982; Brown y Baker, 1985).

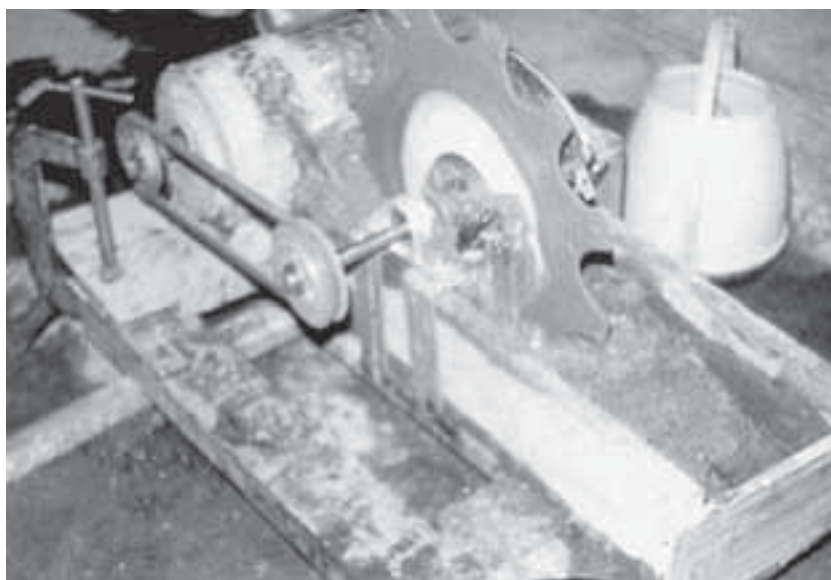


Lámina 128 Una caja de desgaste acelerado para probar abresurcos para labranza cero.

Efectos de la colocación del fertilizante en bandas dentro de la ranura

Se realizaron varios experimentos para determinar la posición más apropiada para la colocación del fertilizante separado de las semillas. Además de las técnicas de experimentación de campo más comunes, que no se describen en detalle aquí, se desarrollaron varias unidades experimentales.

La dirección de separación horizontal, vertical y diagonal entre el fertilizante y las semillas fue comparada usando abresurcos de ala en la versión de disco, modificada con combinaciones disco-lámina como sigue:

1. Láminas laterales colocadas en lados opuestos del disco y a igual distancia (separación horizontal).
2. Láminas laterales colocadas en lados opuestos del disco pero la lámina del fertilizante fue 20 mm más larga (separación diagonal).
3. La lámina de un lado fue extendida por debajo del disco para crear una banda profunda debajo y a un lado de las semillas (bandas anchas).
4. Una lámina corta y una lámina larga fueron colocadas en el mismo lado del disco (separación vertical).

El rendimiento de los cultivos y el daño de las semillas fueron comparados con los ensayos de campo de esas combinaciones. La opción horizontal produjo mejores rendimientos, en todos los aspectos, que las opciones vertical o diagonal (ver Capítulo 9). Esto, en cierto modo, fue una ventaja, porque hubiera sido difícil implementar la opción vertical a escala de campo dado que la colocación de las dos láminas en un lado del disco podría haber sido difícil para otros propósitos que no fueran experimentales. La Lámina 59 muestra la colocación vertical del abresurcos en un caso experimental.

Sorprendentemente, la opción diagonal extendida no pareció interferir con la capacidad del abresurcos para manejar residuos superficiales, pero causó un modelo indeseable de desgaste en los bordes interiores de las láminas porque cada lámina hacía contacto con el disco en la zona de su ranura, por lo menos durante la mitad del tiempo y el contacto fue continuo por encima de esas ranuras. Las láminas más largas también produjeron un incremento de la torsión de arrastre en el disco dada la extensa zona de contacto entre ambos. Dado que no había un beneficio en favor de la propuesta más larga y más complicada de las láminas fertilizantes, la opción no tuvo seguimiento.

Afzal (1981) comparó la colocación vertical con la colocación horizontal del fertilizante en relación con las semillas sin usar un abresurcos, extrajo pequeños bloques de suelo sin disturbar del campo y los colocó en macetas y cajas. Para la colocación vertical, hizo pequeños huecos verticales cilíndricos en el suelo, colocó una cantidad pesada previamente de fertilizante en la base del hueco y encima reemplazó una cantidad conocida de suelo suelto apisonado.

Para la separación horizontal repitió el proceso anterior pero hizo el hueco vertical solo a la profundidad de siembra y cubrió las semillas con un tapón de suelo sin disturbar. A continuación hizo un hueco horizontal desde el lado de la maceta o caja para colocar el fertilizante a una distancia predeterminada y a la misma profundidad de la semilla. Este hueco también fue cerrado con un tapón de suelo sin disturbar, pero en este caso sin residuos superficiales.

Prototipos de sembradoras y estrategias de manejo

Una parte del desarrollo lógico de una nueva tecnología de campo con nuevos hallazgos de laboratorio es que deben ser eventualmente

probados a escala de campo. En el caso de las sembradoras y las sembradoras de precisión esto se realiza parcialmente usando pequeñas máquinas experimentales. Por ejemplo, una de las funciones más importantes de las sembradoras para labranza cero es la capacidad para manejar los residuos superficiales. Una máquina experimental de un solo surco podría sugerir cuán bien un abresurcos podría cumplir esta función, pero solo una máquina con múltiples abresurcos podría experimentar las interacciones de los abresurcos contiguos en el campo, con una cantidad variable de residuos y distintas configuraciones. O sea, es importante observar el comportamiento del abresurcos y la sembradora a escala de campo junto con el seguimiento del componente del desgaste y la durabilidad.

También es necesario comparar el comportamiento de los distintos diseños de abresurcos en el campo, pero solo después de haber probado su comportamiento biológico en condiciones controladas de laboratorio. Una vez que se completan los detalles del laboratorio, es posible hacer comparaciones adecuadas en el campo usando una máquina para pruebas con varios abresurcos.

La operación en el campo ofrece la oportunidad para apreciar las reacciones de los agricultores a las nuevas tecnologías y aprender de ellos las limitaciones impuestas por sus sistemas de manejo. Esto también permite a los investigadores que trabajan con agricultores innovadores que desarrollen nuevas estrategias de manejo basadas en el aumento de la capacidad de las nuevas tecnologías emergentes para labranza cero.

La secuencia del desarrollo involucra la prueba de: i) sembradoras de un surco; ii) barras portaherramientas universales para probar en el campo distintos diseños de abresurcos al mismo tiempo; iii) sembradoras y sembradoras de precisión del tamaño de las parcelas, y iv) prototipos de sembradoras a escala de campo y un servicio de sembradoras a disposición de los agricultores.

Pruebas de sembradoras de un surco

Se construyeron modelos de sembradoras de un solo surco que fueron construidos con tres objetivos. En primer lugar fueron una herramienta para probar el comportamiento mecánico de los prototipos de abresurcos en el suelo en el campo. Por lo general, el objetivo de esas pruebas fue enfocado en la cuantificación del funcionamiento mecánico en diferentes condiciones de suelos o de los residuos. En algunos casos, como se ha mencionado anteriormente, podían ser usadas para sembrar áreas más extensas para pruebas aceleradas de desgaste.

En general, estas pruebas con sembradoras de un surco consistían en un abresurcos rígidamente montado en un bastidor unido al enganche de tres puntos del tractor, con la fuerza de penetración proporcionada por un lastre removible. De esta manera, el enganche de tres puntos actuaba como los brazos articulados para el abresurcos si bien la geometría de tal enganche raramente era ajustable como para formar un paralelogramo perfecto. Dentro del limitado rango de movimientos verticales requeridos de las máquinas para pruebas con el abresurcos en la tierra, los enganches del tractor fueron considerados aceptables.

En segundo lugar, las unidades para un solo surco fueron usadas para sembrar; en esos casos se agregaron sistemas simples de distribución de semillas y fertilizantes. Estas simples unidades para la siembra ofrecían la oportunidad de experimentar en el campo y verificar el comportamiento biológico de la colocación de las semillas y el fertilizante.

En tercer lugar, se convirtieron en una máquina conveniente, si bien limitada, para demostrar a los agricultores las cualidades de los nuevos abresurcos sin necesidad de transportar máquinas grandes y pesadas al campo. Los investigadores aprendieron que –aun con la ayuda de poder ver cómo operaba cada abresurcos en las siembras demostrativas de un solo surco– pocos observadores fueron ca-

paces de visualizar la capacidad de una sembradora para surcos múltiples operando en circunstancias similares. Por ello, el concepto de demostraciones en un solo surco jugó un papel menor en el amplio proceso de transferencia de tecnología pero fue importante en el proceso de desarrollo de la ingeniería.

El concepto de sembradora de un surco para labranza cero fue extendido a máquinas comerciales como una sembradora de parcelas para estaciones experimentales, una sembradora comercial para establecer arbustos alimenticios por medio de labranza cero en zonas de tierras de ladera y erosionables y una sembradora comercial para pequeños agricultores en países en desarrollo. La adaptabilidad fue posteriormente mejorada con un bastidor frontal con rueda para asegurar que el ángulo de giro del abresurco permanecía en posición correcta y para facilitar los giros cuando se usaban animales de tiro. Se agregó una plataforma a la parte posterior para permitir llevar al operador y actuar como peso para la fuerza de penetración. Las Láminas 129, 130 y 131 muestran

varias máquinas de un surco para pruebas usadas en ensayos y/o demostraciones de la versión de discos de los abresurcos de ala.

Prueba de campo simultánea de varios diseños de abresurcos

Es difícil ejecutar una prueba válida de comparación de abresurcos a escala de campo sin tener la posibilidad de controlar el suelo y las condiciones climáticas. Casi invariablemente, esas pruebas revelan el dominio de un modelo de abresurcos sobre otros abresurcos comparados en esas condiciones particulares, solamente por el hecho de alterar el orden en diferentes condiciones. Se deben identificar las condiciones de campo bajo las cuales es dominante un abresurco y comprender las fortalezas y las debilidades de los distintos diseños.

A menudo, pueden variar distintos parámetros y es muy difícil aislar las razones por las cuales uno o más abresurcos tienen un comportamiento superior en ciertas condiciones



Lámina 129 Sembradora de un solo surco para labranza cero disponible en el comercio.



Lámina 130 Antigua unidad de un solo surco para demostraciones.



Lámina 131 Máquina de un solo surco para probar la capacidad de manejo de los residuos de un abresurcos para labranza cero.

específicas sin contar con resultados experimentales de laboratorio que justifiquen la

capacidad biológica de varios abresurcos para labranza cero. Salvo cuando los abresurcos

requieren barras portaherramientas de control o son autocontrolados, un solo ajuste de altura y presión de penetración o velocidad puede no ser apropiados para todos los abresurcos, y dar resultados erróneos favorables a aquellos abresurcos que se benefician de la prueba de ajuste.

Es interesante señalar que cuando al público se le solicitaron comentarios a favor o en contra de las distintas máquinas para labranza cero, gran parte de las personas entendió que tales juicios no pueden ser hechos hasta que las distintas máquinas son comparadas y probadas en el mismo campo. Esta respuesta aparentemente obvia, sin embargo, es errónea porque esas pruebas por lo general no identifican o aíslan las causas individuales de los procesos o las diferencias que pudieran surgir. Es dudoso que alguna vez se haya obtenido un uso científicamente útil por medio, comparaciones de campo de múltiples máquinas para labranza.

Las barras portaherramientas de campo son útiles como una etapa intermedia en el desa-

rollo de la ingeniería para ensayos de campo y de prototipos de abresurcos antes de considerarlos suficientemente prometedores como para incorporarlos en una sembradora o en una sembradora de precisión de surcos múltiples, o incluso en una sembradora para un solo surco.

La Lámina 132 muestra una barra portaherramientas universal de campo para evaluar distintos abresurcos tal como ha sido diseñado por la University of New England, NSW, Australia (J. Scott, 1992, comunicación personal).

Sembradoras y sembradoras de precisión para parcelas

Una vez que las características de un abresurcos, por ejemplo, la versión de disco de un abresurco de ala son hechas públicas, es común que otras organizaciones de investigación desarrollen y construyan sembradoras y sembradoras de precisión para parcelas equipadas solamente con ese tipo de abresurcos para sembrar parcelas de ensayos y campos de evalua-



Lámina 132 Ejemplo de una sembradora universal para parcelas.

ción. En general, la mayoría de los diseños de las máquinas para parcelas han sido un intento de duplicar los arreglos mecánicos y comerciales de las máquinas de campo tan fielmente como sea posible y al mismo tiempo incorporan algunas facilidades para una supervisión más precisa de las dosis de aplicación de fertilizantes y semillas, para la limpieza de las tolvas de los productos entre las parcelas de ensayos y varias opciones para ajustes mecánicos. Estas máquinas están construidas para ser fácilmente transportadas a lugares remotos de en-

sayos o para demostraciones en las fincas de los agricultores. Tales sembradoras adaptadas a las parcelas han sido una etapa intermedia importante del desarrollo antes de obtener prototipos de campo de grandes medidas. La Lámina 133 muestra varias sembradoras típicas para parcelas basadas en la versión de discos de los abresurcos de ala.

Se usaron varios diseños de sembradoras de parcelas para trabajos de fitomejoramiento en parcelas pequeñas y con cantidades muy reducidas de semillas. Se introdujeron mecanis-

SEMBRADORAS DE RANURA CRUZADA A ESCALA EXPERIMENTAL



USDA-1, Pullman, WA



USDA-2, Pullman, WA



WSU Ensayos de variedades –
Pullman, WA



WSU Extensión – Dayton, WA



WSU Experimentación – Lind, WA



NDSU Experimentación – Williston, ND

Lámina 133 Sembradoras típicas para parcelas basadas en la versión de discos de los abresurcos de ala.

mos innovadores para demorar la caída de las semillas de los grupos de abresurcos, de modo que tanto los sembradores traseros como los delanteros comenzaron y terminaron la siembra en el borde de las parcelas.

Prototipos de sembradoras a escala de campo y servicio de sembradoras para los agricultores

El objetivo final de cualquier programa de desarrollo de sembradoras es producir una máquina para el campo que pueda trabajar en operaciones comerciales. Uno de los problemas del desarrollo de sembradoras eficientes para el sistema de labranza cero fue que los requisitos de las sembradoras eran en gran parte desconocidos y altamente variables para este nuevo estilo de producción agrícola y que pocos usuarios podían identificar las causas de los fracasos o los éxitos. Por lo tanto, las demostraciones y las pruebas de campo tomaron una nueva dimensión.

En primer lugar, una sembradora prototipo fue transportada a una serie de fincas de agricultores dispuestos a probarlas en sus establecimientos; sin embargo, esto requería modificar los enganches y las conexiones hidráulicas cada vez que se cambiaba el tractor del agricultor. El problema de la incompatibilidad de las conexiones hidráulicas fue solucionado en un primer momento equipando la sembradora con un sistema hidráulico propio movido por un motor montado en la misma sembradora, si bien esto no solucionaba los otros problemas mencionados. También era difícil encontrar un compromiso formal por parte de los agricultores para manejar el sistema de labranza cero de manera que proporcionara datos confiables sobre la producción y la economía a fin de utilizarlos en los análisis de campo.

Un ejemplo exitoso de pruebas y evaluación de prototipos lo constituyó un tractor completo con sembradora y camión para transporte que se desplazó en gran parte de Nueva Zelanda (Ritchie y Baker, 1987). Este país

ofreció dentro de una distancia de viaje conveniente, una vasta gama de empresas agropecuarias, microclimas, sistemas de producción y tipos de suelos representativos de muchos de los tipos de agricultura que se encuentran en todo el mundo.

Se solicitó apoyo económico a los agricultores para las operaciones y para involucrarlos más intensamente y en una forma más comprometida y significativa. Por lo tanto, lo que en un primer momento fue una operación de pruebas de campo para los investigadores, se transformó, para los agricultores, en un servicio de siembra contratada y en un método de transferencia de tecnología altamente efectivo para ambas partes. Durante un período de 10 años durante el cual se utilizaron tres generaciones de prototipos de sembradoras en aproximadamente 200 campos distintos y en más de 100 fincas, muchas de las cuales fueron sembradas durante varios años sucesivos. La Lámina 134 muestra una máquina integrada para trabajos en el campo.

Aunque el propósito principal de este prototipo de sembradora fue proporcionar información básica a los investigadores sobre el comportamiento en el campo y al mismo tiempo funcionar como un medio de transferencia de tecnología, la operación se convirtió en la base para desarrollar y evaluar nuevas e innovadoras técnicas y estrategias de manejo de las fincas. Los investigadores y consultores participantes usaron la oportunidad como un medio para que otros investigadores introdujeran especies de pasturas tolerantes a la sequía en las tierras de secano existentes (Barr, 1986; Ritchie, 1986a; Milne y Fraser, 1990; Milne *et al.*, 1993).

Resumen del desarrollo de sembradoras y transferencia de tecnología

1. Hay pocos procedimientos experimentales estandarizados conocidos para



Lámina 134 Equipo totalmente integrado de máquina sembradora para pruebas de campo y demostraciones en las fincas de los agricultores.

2. El estudio de abresurcos, sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero requiere desarrollar conocimientos acerca de los procedimientos experimentales, el comportamiento mecánico y el consecuente crecimiento de las plantas.
3. La extracción de grandes bloques de suelo del campo sin disturbar para trasladarlos a un ambiente climáticamente controlado es un método útil para controlar la humedad del suelo, sembrar con abresurcos para simular el comportamiento en el campo y controlar el clima posteriormente a la siembra.
4. Los requisitos ambientales de las semillas y las plántulas dentro de la ranura para la siembra involucran las siguientes variables: i) régimen de humedad del suelo dentro de la ranura; ii) humedad suelo-aire dentro de la ranura; iii) oxígeno del suelo dentro y alrededor de la ranura, y iv) temperatura del suelo dentro de la ranura.
5. El disturbio del suelo por los abresurcos para la siembra requiere la supervisión de los parámetros de: i) resistencia del suelo; ii) presión instantánea del suelo (estrés); iii) desplazamiento instantáneo y permanente del suelo; iv) densidad del suelo, y v) alisado.
6. Aspectos importantes de la posición de las semillas en el suelo después de la siembra son: i) espaciamiento de las semillas a lo largo del surco; ii) profundidad de las semillas, y iii) posición lateral de las semillas en relación con la línea central de la ranura.
7. El recorrido de las semillas desde su salida de la tolva y a través de buenos abresurcos es a menudo más tortuosa y menos predecible que con sembradoras más simples en suelos labrados.
8. Es importante cuantificar las fuerzas de arrastre opuestas a la rotación de los abresurcos de disco para eliminar aquellas que son innecesarias y minimizar aquellas útiles.

9. El desgaste normal en el campo de todos los componentes del abresurcos- sembradora (láminas, alas, discos, cojinetes) deben ser estudiados en condiciones de siembra continua en campos sin disturbar.
10. El agregado de componentes a los abresurcos para la colocación del fertilizante puede causar formas de desgaste indeseables o interferir con la capacidad del abresurcos para manejar los residuos superficiales.
11. Las barras portaherramientas con múltiples abresurcos son útiles para probar en el campo prototipos de abresurcos.
12. El objetivo final del cualquier programa de desarrollo de una sembradora es producir una máquina capaz de cumplir operaciones comerciales normales para las cuales ha sido diseñada.

Referencias

- Abu-Hamdeh, N.H. (2003) Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research* 74, 25–35.
- Addae, P.C., Collis-George, N. and Pearson, C.J. (1991) Over-riding effects of temperature and soil strength on wheat seedling under minimum and conventional tillage. *Field Crops Research* 28, 103–116.
- Afzal, C.M. (1981) The requirements of dry fertilizer placement in direct drilled crops by an improved chisel coulter. Thesis, Massey University Library, New Zealand, 127 pp.
- Allam, R.K. and Wiens, E.H. (1982) Air seeder testing. *Canadian Agricultural Engineering* 24, 91–101.
- Allmaras, R.R., Schomberg, H.H., Douglas, C.L., Jr and Dao, T.H. (2000) Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. *Journal of Soil and Water Conservation* 55, 365–373.
- Almeida, R.A. (1993) Adaptação da 'matraca' ao plantio direto em pequenas propriedades. In: *Encontro Latinoamericano de Planto Direitona Pequena Propriedade 1*, IAPAR, Ponta Grossa, Brazil, pp. 251–257.
- Angers, D.A. and Simard, R.R. (1986) Relationships between organic matter content and soil bulk density. *Canadian Journal of Soil Science* 66, 743–746.
- Ankeny, M.D., Kaspar, T.C. and Horton, R. (1990) Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. *Soil Science Society of America Journal* 54, 837–840.
- Anon. (1993) *Sod Seeding Techniques*. Research Update 699, Prairie Agricultural Machinery Institute, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Anon. (1995) North Otago sustainable land management guidelines [draft]. Otago Regional Council, Dunedin, New Zealand, 92 pp.
- Anon. (2000) Study promotes soil benefits of no-till cropping. *Country Wide, New Zealand*, April, 22.
- Anon. (2004) Mapping a route through precision drill maze. *Profi International* 6, June, 18–24.
- Aquino, P. (1998) *The Adoption of Bed Planting of Wheat in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico*. CIMMYT Wheat Special Report No. 17a, CIMMYT, Mexico, DF.
- Araújo, A.G., Casão, R., Jr and Figueiredo, P.R.A. (1993) Recomendações para dimensionamento e construção do rolo-faca. In: *Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1, 1993. Anais*. Instituto Agrônômico do Paraná, Ponta Grossa, pp. 271–280.
- Araújo, A.G. and Rodrigues, B.N. (2000) Manejo mecânico e químico da aveia preta e sua influencia sobre a taxa de decomposição e o controle de plantas daninhas em semeadura direta de milho. *Planta Daninha, Botucatu* 18(1), 151–160.
- Avnimelech, Y. and Cohen, A. (1988) On the use of organic manures for amendment of compacted clay soils: effects of aerobic and anaerobic conditions. *Biological Wastes* 29, 331–339.
- Bainier, R., Kepner, R.A. and Barger, E.L. (1955) *Principles of Farm Machinery*. John Wiley and Sons, New York, 571 pp.

- Baker, C.J. (1969a) A tillage bin and tool testing apparatus for turf samples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 14(4), 357–360.
- Baker, C.J. (1969b) The present methods of pasture establishment. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 31, 52–59.
- Baker, C.J. (1970) A simple covering harrow for direct drilling. *New Zealand Farmer* 91, 62–63.
- Baker, C.J. (1971) Filling up spaces by surface seeding. In: *Proceedings of the 24th New Zealand Weed and Pest Control Conference*, New Zealand Weed and Pest Control Society, pp. 75–79.
- Baker, C.J. (1976a) An investigation into the techniques of direct drilling seeds into undisturbed sprayed pasture. Thesis, Massey University Library, New Zealand, 186 pp.
- Baker, C.J. (1976b) Experiments relating to the techniques of direct drilling of seeds into untilled dead turf. *Journal of Agricultural Engineering Research* 21(2), 133–145.
- Baker, C.J. (1976c) Some effects of cover, seed size, and soil moisture status on establishment of seedlings by direct drilling. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 5, 47–53.
- Baker, C.J. (1979) Equipment impact and recent developments. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 5–12.
- Baker, C.J. (1981a) How direct drilling equipment developments in Europe and North America relate to New Zealand. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 105–121.
- Baker, C.J. (1981b) Techniques of overdrilling for the introduction of improved pasture species in temperate grasslands. In: *Proceedings of the XIV International Grassland Congress*, International Grassland Congress, pp. 542–544.
- Baker, C.J. (1993a) Inverted T drill openers for pasture establishment by conservation tillage. In: *Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand*, International Grassland Congress.
- Baker, C.J. (1993b) The evolution of 'Cross Slot' no-tillage planters and drills. In: *Proceedings of the II National Congress of No Tillage, Cordoba, Argentina (Trabajos Presentados II Congreso Nacional de Siembra Directa)*, Asociación Argentina Productores en Siembra Directa, Rosario, Argentina, pp. 104–116.
- Baker, C.J. (1993c) Machinery: drills. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M. and Wilkins, J.A.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*, 2nd edn. AgResearch, Hamilton, New Zealand, pp. 48–54.
- Baker, C.J. (1994) The case for hi-technology no-tillage. In: *Proceedings of the Third National Congress of No-Tillage, Cordoba, Argentina*, Asociación Argentina Productores en Siembra Directa, Rosario, Argentina, pp. 145–157.
- Baker, C.J. (1995) Is hi-tech no-tillage inevitable? In: *Proceedings of the Third National No-Tillage Conference, Indianapolis, Indiana, USA*, Lessiter Publications, Brookfield, Wisconsin, USA, pp. 153–164.
- Baker, C.J. and Afzal, C.M. (1981) Some thoughts on fertilizer placement in direct drilling. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 343–354.
- Baker, C.J. and Afzal, C.M. (1986) Dry fertilizer placement in conservation tillage: seed damage in direct drilling. *Soil and Tillage Research* 7, 241–250.
- Baker, C.J. and Badger, E.M. (1979) Developments with seed drill coulters for direct drilling: II. Wear characteristics of an experimental chisel coulters. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 185–188.
- Baker, C.J. and Choudhary, M.A. (1988) Seed placement and micro-management of residue in dryland no-till. In: *Proceedings of the International Conference on Dryland Farming, Amarillo, Texas, USA*, Texas Agricultural Experiment Station, Bushland, Amarillo, Texas, pp. 544–546.
- Baker, C.J. and Mai, T.V. (1982a) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: IV techniques for measuring soil compaction in the vicinity of drilling grooves. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25, 43–49.
- Baker, C.J. and Mai, T.V. (1982b) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils. V. Groove compaction and seedling root development. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25, 51–60.
- Baker, C.J. and Saxton, K.E. (1988) The Cross Slot conservation-tillage grain drill opener. In: *Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Chicago, Illinois, USA*, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper no. 88–1568.

- Baker, C.J., Badger, E.M., McDonald, J.H. and Rix, C.S. (1979a) Developments with seed drill coulters for direct drilling: I. Trash handling properties of coulters. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 175–184.
- Baker, C.J., McDonald, J.H., Seebeck, K., Rix, C.S. and Griffiths, P.M. (1979b) Developments with seed drill coulters for direct drilling: III. An improved chisel coulters with trash handling and fertilizer placement capabilities. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 189–196.
- Baker, C.J., Thom, E.R. and McKain, W.I. (1979c) Developments with seed drill coulters for direct drilling: IV. Band spraying for suppression of competition during over-drilling. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 411–416.
- Baker, C.J., Chaudhry, A.D. and Springett, J.A. (1987) Barley seedling establishment and infiltration from direct drilling in a wet soil. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 17, 59–66.
- Baker, C.J., Chaudhry, A.D. and Springett, J.A. (1988) Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil. 3. Comparison of six sowing techniques. *Soil and Tillage Research* 11, 167–181.
- Baker, C.J., Saxton, K.E. and Ritchie, W.R. (1996) *No-tillage Seeding: Science and Practice*. CAB International, Wallingford, UK, 258 pp.
- Baker, C.J., Choudhary, M.A. and Collins, R.M. (2001) Factors affecting the uptake of no-tillage in Australia, Asia and New Zealand. In: *Proceedings 1 World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, Spain*, Vol. 1, European Conservation Agriculture Federation (Brussels, Europe) and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, pp. 35–42.
- Ball, B.C., Scott, A. and Parker, J.P. (1999) Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil and Tillage Research* 53(1), 29–39.
- Barr, S.J. (1980) Some factors affecting the success of pasture renovation using over-drilling with band spraying. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, New Zealand, 84 pp.
- Barr, S.J. (1981) Specifying and evaluating the performance of overdrilling machines. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 151–163.
- Barr, S.J. (1986) Direct drilling to increase pasture production. *New Zealand Dairy Farming Annual* 150–158.
- Basker, A., MacGregor, A.N. and Kirkman, J.H. (1993) Exchangeable potassium and other cations in non-ingested soil and casts of two species of pasture earthworms. *Soil Biology and Biochemistry* 25, 1673–1677.
- Baumer, C.R., Devito, C.R. and Gonzalez, N.C. (1994) *Sembradoras Directas de Granos Finos*. Boletín de Extension No. 9 (PAC-BAN No. 5), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, 25 pp.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J. and Ceretta, C.A. (2000a) Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil and Tillage Research* 53, 95–104.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L. and Fernandes, S.V. (2000b) Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 54, 101–109.
- Benjamin, L.A. (1990) Variation in time of seedling emergence within populations: a feature that determines individual growth and development. *Advances in Agronomy* 44, 1–25.
- Bernardi, R. and Lazaretti, A. (2004) Agricultura orgânica em sistema de plantio direto. In: *Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 9º, Anais*. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, Chapecó, Brazil, pp. 105–106.
- Bevin, A.S. (1944) *The Awakening*. Wilson and Horton, Auckland, New Zealand, 78 pp.
- Blackmore, L.W. (1955) The overdrilling of pastures. In: *Proceedings of the 7th New Zealand Grasslands Association Conference*. New Zealand Grasslands Association, Dunedin, pp. 139–148.
- Blackwell, P.S., Ward, M.A., Lefevre, R.N. and Cowan, D.J. (1985) Compaction of a swelling clay soil by agricultural traffic, effects upon conditions for growth of winter cereals and evidence for some recovery of structure. *Journal of Soil Science* 36(4), 633–650.
- Blevens, R.L. and Frye, W.W. (1993) Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy* 51, 37–78.
- Bligh, K.J. (1991) Tined and disced no-till seeder comparison. In: *Proceedings of the Meeting of the American Society of Agricultural Engineers*, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper number 91–8005.

- Borlaug, N.E. (1994) Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. In: *Supplement to Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico*, International Society of Soil Science. Supplement to 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico.
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Balbuena, R. and Rosatto, H. (2004) Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil and Tillage Research* 78, 53–58.
- Bouaziz, A., Souty, N. and Hicks, D. (1990) Emergence force exerted by wheat seedlings. *Soil and Tillage Research* 17, 211–219.
- Braverman, M.P., Dusky, J.A., Locascio, S.J. and Hornsby, A.G. (1990) Sorption and degradation of thiobencarb in three Florida soils. *Weed Science* 38(6), 583–588.
- Brougham, R.W. and Hodgson, J. (1992) Grasslands for the world. Foreword to *Prospectus for XVII International Grassland Congress*. International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand.
- Brown, A.D. (1997) Soil physical conditions for optimum crop establishment. PhD thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.
- Brown, S.W. (1982) An investigation into wear characteristics of a direct drilling coulter (opener). Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 228 pp.
- Brown, S.W. and Baker, C.J. (1985) Wear characteristics of a direct-drilling opener. *Soil and Tillage Research* 6, 247–260.
- Calegari, A. (1990) *Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná*. Boletim Técnico, 35, IAPAR, Londrina, 37 pp.
- Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992) Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56, 777–783.
- Campbell, A.J. (1985) An X-ray technique for determining seed placement in direct drilled soils. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 154 pp.
- Campbell, A.J. and Baker, C.J. (1989) An X-ray technique for determining three-dimensional seed placement in soils. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 379–384.
- Campbell, B.D. (1981) Observations on early seedling establishment for overdrilled red clover. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 143–150.
- Campbell, B.D., McDonald, J.H. and Baker, C.J. (1985) A mechanism to regulate winged coulter depth and overdrilled seed spacing in field experiments. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 13, 175–179.
- Campbell, C.A., Selles, F., Lafond, G.P. and Zentner, R.P. (2001) Adopting zero tillage management: impact on soil C and N under long-term crop rotations in a thin Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* 81, 139–148.
- Campbell, D.J., Dickson, J.W., Ball, B.C. and Hunter, R. (1986) Controlled seedbed traffic after ploughing or direct drilling under winter barley in Scotland, 1980–1984. *Soil and Tillage Research* 8, 3–28.
- Carpenter, A., Kain, W.M., Baker, C.J. and Sims, R.E.H. (1978) The effects of tillage technique on insect pests of seedling maize. In: *Proceedings of the 31st New Zealand Weed and Pest Control Conference*. New Zealand Weed and Pest Control Society, pp. 89–91.
- Carter, L.M., Meek, B.D. and Rechel, E.A. (1991) Zone production system for cotton: soil response. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34(2), 354–360.
- Carter, M.R. (1994) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis, Boca Raton, Florida, 390 pp.
- Carter, P.A. (1986) Aspects of precision spacing of vegetable crop seeds and no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 110 pp.
- Casão, R., Jr and Yamaoka, R.S. (1990) Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta tração animal. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 1990, Piracicaba Anais*. SBEA, Piracicaba, pp. 766–777.
- Chamen, W.C.T. and Longstaff, D.J. (1995) Traffic and tillage effects on soil conditions and crop growth on a swelling clay soil. *Soil Use and Management* 11, 168–176.
- Chamen, W.C.T., Chithey, E.T., Leede, P.R., Goss, M.J. and Howse, K.R. (1990) The effect of tyre soil contact pressure and zero traffic on soil and crop responses when growing winter wheat. *Journal of Agricultural Engineering Research* 47, 1–21.
- Chamen, W.C.T., Vermeulen, G.D., Campbell, D.J. and Sommer, C. (1992) Reduction of traffic-induced soil compaction: a synthesis. *Soil and Tillage Research* 24, 303–318.
- Chaney, K. and Swift, R.S. (1984) The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science* 35, 223–230.

- Chaudhry, A.D. (1985) Effects of direct drilling openers, surface residue and earthworms on seed and seedling performance in a wet soil. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 336 pp.
- Chaudhry, A.D. and Baker, C.J. (1988) Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil: I. Effects of openers under simulated rainfall and high water-table conditions. *Soil and Tillage Research* 11, 443–461.
- Choudhary, M.A. (1979) Interrelationships between performance of direct drilled seeds, soil micro-environment and drilling equipment. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 211 pp.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1980) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: I. Wheat seedling emergence from a dry soil under controlled climates. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23, 489–496.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1981a) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: II. Seed groove formation by a 'triple disc' coultter and seedling performance. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24, 183–187.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1981b) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: III. Wheat seedling performance and in-groove micro-environment in a dry soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24, 189–195.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1982) Effects of drill coultter design and soil moisture status on emergence of wheat seedlings. *Soil and Tillage Research* 2, 131–142.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1994) In: Carter, M.R. (ed.) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 183–207.
- Choudhary, M.A., Guo, P.Y. and Baker, C.J. (1985) Seed placement effects on seedling establishment in direct drilled fields. *Soil and Tillage Research* 6, 79–93.
- Choudhary, M.A., Baker, C.J. and Stiefel, W. (1988a) Dry fertilizer placement in direct drilling. *Soil and Tillage Research* 12, 213–221.
- Choudhary, M.A., Baker, C.J., Currie, L.D. and Lynch, T.J. (1988b) Disposal of agricultural liquid waste by sub-soil injection. In: Bhamidimarri, R. (ed.) *Alternative Waste Treatment Systems*. Elsevier Applied Science, London.
- Cockcroft, B. and Olsson, K.A. (2000) Degradation of soil structure due to coalescence of aggregates in no-till, no-traffic beds in irrigated crops. *Australian Journal of Soil Research* 38, 61–70.
- Collins, R.M. (1970) A study of band spraying and direct drilling as a technique for increasing the winter production of pastures. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 142 pp.
- Collis-George, N. and Lloyd, J.E. (1979) The basis for a procedure to specify soil physical properties of a seed bed for wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 30, 831–846.
- Cook, J. and Veseth, R. (1993) *Wheat Health*. National Society of Plant Pathology.
- Copp, L.G.L. (1961) A precision seeder operated by suction. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 4, 441–443.
- Cross, M.W. (1957) Overdrilling machinery and methods. In: *Massey Agricultural College Dairy Farmers' Conference, Massey University, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 77–84.
- Cross, M.W. (1959) Method of reducing pasture establishment costs. *Sheepfarming Annual, Massey University, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 107–116.
- Crovetto, L.C. (1996) *Stubble over the soil: The Vital Role of Plant Residue in Soil Management to Improve Soil Quality*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 245 pp.
- Cullen, N. (1966) Pasture establishment on unploughable hill country in New Zealand. In: *Proceedings of the X International Grassland Congress*, International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand, pp. 851–855.
- Dangol, B. (1968) A review of the factors affecting pasture establishment. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 88 pp.
- Dick, W.A., Van Doren, D.A., Triplett, G.D., Jr and Henry, J.E. (1986a) *Influence of Long-term Tillage and Crop Rotation Combination on Crop Yields and Selected Soil Parameters. The Results Obtained for a Typical Fragiudalf Soil*. Research Bulletin 1180, OSU and OARDC, Wooster, Ohio.
- Dick, W.A., Van Doren, D.A., Triplett, G.D., Jr and Henry, J.E. (1986b) *Influence of Long-term Tillage and Crop Rotation Combination on Crop Yields and Selected Soil Parameters. II. The Results Obtained for a Typical Fragiudalf Soil*. Research Bulletin 1181, OSU and OARDC, Wooster, Ohio.
- Dickson, J.W. and Campbell, D.J. (1990) Soil and crop responses to zero- and conventional-traffic systems for winter barley in Scotland, 1982–1986. *Soil and Tillage Research* 18, 1–26.

- Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P. and Kögel-Knabner, I. (2004) Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research* 81, 87–95.
- Dixon, H.N. (1972) The effects of coulters design on soil compaction and root development of a cereal following direct drilling. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 51 pp.
- Domínguez, J., Bohlen, P.J. and Parmelee, R.W. (2004) Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems* 7, 672–685.
- Doran, J.W. (1980) Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44, 518–524.
- Doran, J.W., Fraser, D.G., Culik, M.N. and Leibhardt, W.C. (1987) Influence of alternative and conventional agricultural management on soil microbial processes and N availability. *American Journal of Alternative Agriculture* 2, 99–106.
- Dudek, D.J., Goffman, J. and Wade, S.M. (1997) Emissions trading in nonattainment areas: potential, requirements, and existing programs. In: Kosobud, R.F. and Zimmermann, J.M. (eds) *Market-based Approaches to Environmental Policy: Regulatory Innovations to the Fore*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 151–185.
- Dumanski, J., Desjardins, R.L., Tarnocai, C., Monreal, D., Gregorich, E.G., Kirkwood, V. and Campbell, C.A. (1998) Possibilities for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land-use changes. *Climate Change* 40, 81–103.
- Duxbury, J.M., Harper, L.A. and Mosier, A.R. (1993) Contributions of agroecosystems to global climate change. In: Harper, L. *et al.* (eds) *Agroecosystem Effects on Radiatively Important Trace Gases and Global Climate Change*. ASA Publication 55, ASA, Madison, Wisconsin, pp. 1–18.
- Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. and Ruf, M.E. (1992) Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalt soil. *Soil Science Society of America Journal* 56, 1577–1582.
- Edwards, W.M., Shipitalo, M.J. and Norton, L.D. (1988) Contribution of macroporosity to infiltration into a continuous corn no-tilled watershed: implications for contaminant movement. *Journal of Contaminant Hydrology* 3, 193–205.
- Ellert, B.H. and Janzen, H.H. (1999) Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian prairies. *Soil and Tillage Research* 50, 21–32.
- Ei-Swaify, S.A. (ed.) (1999) *Sustaining the Global Farm – Strategic Issues, Principles, and Approaches*. International Soil Conservation Organization (ISCO) and Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Manoa, Hawaii, 60 pp.
- Faulkner, E. (1943) *Ploughman's Folly*. Michael Joseph, London, 142 pp.
- Fick, C. (2000) On the money. *Farm Journal* April, 12–13.
- Flerchinger, G.N. and Saxton, K.E. (1989a) Simultaneous heat and water model of a freezing snow–residue–soil system: I. Theory and development. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 565–571.
- Flerchinger, G.N. and Saxton, K.E. (1989b) Simultaneous heat and water model of a freezing snow–residue–soil system: II. Field verification. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 573–578.
- Flowers, M.D. and Lal, R. (1998) Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research* 48, 21–35.
- Follas, G.B. (1981) The effects of coulters design on slug damage in direct drilling. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 201–216.
- Follas, G.B. (1982) A study of the effects of ground cover on overwintering slug populations and the effect of coulters design on slug incidence in direct drilling. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 121 pp.
- Follett, R.F. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research* 61, 77–92.
- Franzluebbers, A.J. and Arshad, M.A. (1996) Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in northwestern Canada. *Soil Science Society of America Journal* 60, 1422–1427.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995a) Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature and bulk density. *Soil Science Society of America Journal* 2, 95–109.

- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995b) Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil and Tillage Research* 34, 41–60.
- Frye, W.W. (1984) Energy requirements in no tillage. In: Phillips, R.E. and Phillips, S.H. (eds) *No-tillage Agricultural Principles and Practices*. VanNostrand Reinhold, New York, pp. 127–151.
- Fundação ABC (1993) Custos de Mecanizacao Agricola Castro. *Revista Batavo* 21, 23.
- Gaffney, J. and Wilson, A. (2003) The economics of zero tillage and controlled traffic farming for Western Downs farms. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 458–464.
- Gamero, C.A., Siqueira, R., Levien, R. and Silva, S.L. (1997) Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Campina Grande. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, v. cd-rom*, pp. 1–13.
- Garcia-Torres, L., Benites, J. and Martinez-Vilela, A. (2001) Conservation agriculture: a worldwide challenge. In: *Proceedings of the 1st World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, Spain, 1–5 October 2001*. XUL, Cordova, Spain, p. 387.
- Gerik, T.J., Morrison, J.E., Jr and Chichester, F.W. (1987) Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agronomy Journal* 79, 434–438.
- Giles, D.M. (1994) Crop residue decomposition under no-tillage in Manawatu. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 67 pp.
- Gilley, J.E. and Doran, J.W. (1997) Tillage effects on soil erosion potential and soil quality of a former conservation reserve program site. *Journal of Soil and Water Conservation* 52, 184–188.
- Goh, K.M. (2004) Carbon sequestration and stabilization in soils: implications for soil productivity and climate change. *Soil Science and Plant Nutrition* 50, 467–476.
- Govaerts, B., Sayre, K.D. and Deckers, J. (2004) Stable high yields with zero-tillage and permanent bed planting. *Field Crops Research*. Article in press but available online at www.sciencedirect.com
- Grover, G., Vandaele, K., Desmet, P.J.J., Poesen, J. and Bunte, K. (1994) The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science* 45, 469–478.
- Grabski, A.S., Schafer, B.M. and Desborough, P.J. (1995) A comparison of the impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton, NSW. In: *Proceedings of the National Controlled Traffic Conference, Rockhampton, Australia*, pp. 97–102.
- Grant, F.R. (1997) Changes in soil organic matter under different tillage and rotations: Mathematical modeling in ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1159–1175.
- Graves, D.W. (1994) No tillage: soil inversion in perspective. In: *Proceedings of the Federation of Organic Agriculture Movements, Canterbury, New Zealand* (in press).
- Green, M. and Eliason, M. (1999) *Equipment Issues in Crop Residue Management for Direct Seeding*. Factsheets in Direct Seeding, November, Alberta Agriculture, Food and Development.
- Hadfield, A.B. (1993) Seeding depth effects on the performance of wheat and lupin seedlings under no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 115 pp.
- Haggar, R.J. (1977) Herbicides and low-cost grassland establishment, with special reference to clean seedbeds and one-pass seeding. In: *Proceedings of the International Conference on Energy Conservation in Crop Production, Palmerston North, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 13 pp. 31–38.
- Hall, D.G.M., Reeve, M.J., Thomasson, A.J. and Wright, V.F. (1977) *Water Retention, Porosity and Density of Field Soils*. Soil Survey Technical Monograph No. 9, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, UK, 75 pp.
- Hamilton-Manns, M. (1994) Effects of date of sowing on pasture establishment by no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 138 pp.
- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Classen, M.M. and Long, J.H. (1990) Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 54, 448–452.
- Heege, H.J. (1993) Seeding methods performance for cereals, rape and beans. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 36(3), 653–661.
- Heywood, A.L. (1977) Selected plant and soil responses to three methods of seedbed preparation. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 87 pp.
- Hobbs, P.R. and Gupta, R.K. (2003) Resource-conserving technologies for wheat in rice–wheat systems. In: Ladha, J.K., Hill, J., Gupta, R.K., Duxbury, J. and Buresh, R.J. (eds) *Improving the Productivity and Sustainability of Rice–Wheat Systems: Issues and Impact*. ASA Special Publication 65, Agronomy Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 149–171.

- Hobbs, P.R. and Gupta, R.K. (2004) Problems and challenges of no-till farming for the rice-wheat systems of the Indo-Gangetic plains in South Asia. In: Lal, R., Hobbs, P., Uphoff, N. and Hansen, D.O. (eds) *Sustainable Agriculture and the Rice-Wheat System*. Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 101–119; Marcel Dekker, New York, pp. 101–121.
- Hollbrook, J.R. (1995) Direct drilling in the UK and Europe and subsequent research into the effect of light on development of wheat. In: *Proceedings of the 2nd EC Workshop of the Concerted Action on Experiences with the Applicability of No-tillage Crop Production in the West European Countries, Silsoe, 15–17 May 1995*. Justus Liebig University, Giessen, Germany.
- Houghton, R.A., Hobbie, J.A., Melillo, J.M., More, B., Peterson, B.J., Shaver, G.R. and Woodwell, G.M. (1983) Changes in the carbon content of terrestrial biota in soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs* 53, 235–262.
- Hudson, B.D. (1994) Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(2), 189–194.
- Hughes, K.A. (1975) A study of tillage mechanisms in relation to soil properties and crop growth. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 139 pp.
- Hughes, K.A. and Baker, C.J. (1977) The effects of tillage and zero-tillage systems on soil aggregates in a silt loam. *Journal of Agricultural Engineering Research* 22, 291–301.
- Hyde, G.M., Johnson, G.E., Simpson, J.B. and Payton, D.M. (1979) Grain drill design concepts for Pacific Northwest conservation farming. In: *Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, USA*. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper no. 79–1525.
- Hyde, G.M., Wilkins, D.E., Saxton, K.E., Hammel, J., Swanson, G., Hermanson, R., Dowding, E.A., Simpson, J.B. and Peterson, C.L.M. (1987) Reduced tillage seeding equipment developments. In: Elliot, L.F. (ed.) *STEEP – Conservation Concepts and Accomplishments*. Washington State University Press, Pullman, Washington.
- Hyde, G.M., George, J.E., Saxton, K.E. and Simpson, J.B. (1989) Slot mulch insertion machine: design and performance. In: *American Society of Agricultural Engineers Winter Conference, Chicago, Illinois, USA*, Paper no. 89–1502.
- Inwood, S.B. (1990) The effects on seedling performance of different establishment techniques and drilling patterns in pasture renewal. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 61 pp.
- IPCC (2000) *Land Use, Land-use Change, and Forestry*. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 377 pp.
- Javed, T. (1992) Determination of drag torque of the rotating disc of the 'Bioblade' opener. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 162 pp.
- Justice, S. and Biggs, S. (2004a) Socially responsible rural mechanization processes and policies in Nepal. *Agricultural Research and Extension Network Newsletter* 50, July.
- Justice, S. and Biggs, S. (2004b) Socially equitable mechanisation in Nepal. *Appropriate Technology* 31, March, 1.
- Justice, S., Haque, E., Meisner, C., Hossain, I., Sah, G., Tripathi, J., Rashid, M.H. and Amin, M.R. (2004) Giving South Asia farmers a choice: a single drill for reduced and strip till crops for 2-wheel tractors. Paper presented at the 2004 International Commission on Agricultural Engineering (CIGR) International Conference, Beijing, China, 11–14 October 2004.
- Kanchanasut, P., Scotter, D.R. and Tillman, R.W. (1978) Preferential solute movement through larger soil voids, 11 experiments with saturated soil. *Australian Journal of Soil Research* 16, 257–267.
- Karonka, P. (1973) Machinery development for direct drilling. *Outlook on Agriculture* 7(4), 190–195.
- Kern, J.S. and Johnson, M.G. (1993) Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57, 200–210.
- Kim, D.A. (1971) The effects of sowing and renovation techniques on the establishment of, and competition between, pasture species. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 152 pp.
- Kimble, J.M., Lal, R. and Follett, R.R. (2002) Agricultural practices and policy options for carbon sequestration: what we know and where we need to go. In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 495–501.
- King, J.A., Bradley, R.I., Harrison, R. and Carter, A.D. (2004) Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use and Management* 20, 394–402.

- Kirby, E.J.M. (1993) Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Research* 35, 101–111.
- Kurachi, S.A.H., Costa, J.A.S., Bernardi, J.A., Silveira, G.M. and Coelho, J.L.D. (1993) *Avaliação Tecnológica: resultados de ensaios de mecanismos dosadores de sementes de semeadoras-adubadoras de precisão*. Boletim Técnico 28, Instituto Agrônomo, Campinas.
- Lafond, G.P., Derksen, D.A., Loeppky, H.A. and Struthers, D. (1994) An agronomic evaluation of conservation tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *Journal of Soil and Water Conservation* 49, 387–393.
- Lal, R. (1984) Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy* 37, 183–248.
- Lal, R. (1989) Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics vs temperate environments. *Advances in Agronomy* 42, 1073–1082.
- Lal, R. (1997) Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. *Soil and Tillage Research* 43, 81–107.
- Lal, R. (1999) Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In: *Prevention of Land Degradation, Enhancement of Carbon Sequestration and Conservation of Biodiversity through Land Use Change and Sustainable Land Management with a Focus on Latin America and the Caribbean*. World Soil Resources Report 86, FAO, Rome, pp. 45–52.
- Lal, R. (2000) World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy* 71, 145–191.
- Lal, R. (2002) Why carbon sequestration in agricultural soils? In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 21–30.
- Lal, R. (2004) Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30, 981–990.
- Lal, R., Logan, T.J., Eckert, D.J., Dick, W.A. and Shipitalo, M.J. (1994a) Conservation tillage in the corn belt of the United States. In: Carter, M.R. (ed.) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 73–114.
- Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994b) Long-term tillage affects on Mollic Ochraqualf in northwestern Ohio. III. Soil nutrient profile. *Soil and Tillage Research* 15, 371–382.
- Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. and Cole, V. (1998) *Potential of U.S. Cropland for Carbon Sequestration and Greenhouse Effect Mitigation*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 128 pp.
- Lamarca, C.C. (1998) *Stubble over the Soil*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 245 pp.
- Lamers, J.G., Perdok, U.D., Lumkes, L.M. and Klooster, J.J. (1986) Controlled traffic farming systems in the Netherlands. *Soil and Tillage Research* 8, 65–76.
- Lane, P.M.S., Pottinger, R.P. and Kaligariff, P.J. (1993) Pasture renovation: costs and benefits. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*, 2nd edn. AgResearch, Hamilton, New Zealand, pp. 115–120.
- Le Bissonnais, Y. (1990) Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. In: Bryan, R.B. (ed.) *Soil Erosion: Experiments and Models*. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, pp. 13–28.
- Lee, K.E. (1985) *Earthworms: Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use*. Academic Press, New York.
- Li, Y.X., Tullberg, J.N. and Freebairn, D.M. (2001) Traffic and residue cover effects on infiltration. *Australian Journal of Soil Research* 39, 239–247.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W. and Schumacher, T.E. (1992) Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil and Tillage Research* 24, 243–255.
- Little, C.E. (1987) *Green Fields Forever: The Conservation Tillage Revolution in America*. Island Press, Washington, DC, 192 pp.
- Lobb, D.A. and Kachanoski, R.G. (1999) Modelling tillage translocation using steppe, near plateau, and exponential functions. *Soil and Tillage Research* 51, 261–277.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.J. and Miller, M.H. (1995) Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using ¹³⁷Cesium as a tracer. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 211–218.
- Lobb, D.A., Lindstrom, M.J., Quine, T.A. and Govers, G. (2000) Tillage at the threshold of the 21st century: new directions in response to tillage translocation and tillage erosion. In: *Proceedings of the 15th Conference of the International Soil and Tillage Research Organization, Elsevier, Netherlands, Fort Worth, Texas, 2–6 July 2000*.
- Logan, T.J., Lal, R. and Dick, W.A. (1991) Tillage systems and soil properties in North America. *Soil and Tillage Research* 20, 241–270.

- Lücke, W. and von Hörsten, D. (2004) Design and development of a new combine straw chopper with huge spreading range. In: *EurAgEng 2004: Proceedings of the AgEng 2004 Conference, Belgium*.
- Lynch, J.M. (1977) Phytotoxicity of acetic acid produced in an anaerobic decomposition of wheat straw. *Journal of Applied Bacteriology* 10, 131–135.
- Lynch, J.M. (1978) Production of a phototoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. *Journal of Soil Biology* 10, 131–135.
- Lynch, J.M., Ellis, F.A.B., Harper, S.H.T. and Christian, D.G. (1980) The effect of straw on the establishment and growth of winter cereals. Agricultural Research Council report. *Agriculture and the Environment* 5, 321–328.
- Mai, T.V. (1978) The effects of drill coulter designs on soil physical properties and plant responses in untilled seedbeds. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 220 pp.
- Martin, D.L. and Thraikill, D.J. (1993) Moisture and humidity requirements for germination of surface seeded corn. *Applied Engineering in Agriculture* 9(1), 43–48.
- Mason, R.M., Page, J.R., Tullberg, J.N. and Buttsworth, R.K. (1995) The economics of controlled traffic: South Burnett case study. In: *Proceedings of the National Controlled Traffic Conference, Rockhampton, Queensland, 13–14 September*, pp. 109–114.
- McKenzie, A.F., Fan, M.X. and Cardin, F. (1998) Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn–soybeans–alfalfa rotations and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality* 27, 698–703.
- McQueen, D.J. and Shepherd, T.G. (2002) Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. *Soil and Tillage Research* 63(3–4), 93–107.
- Meek, B.D., DeTar, W.R., Rolph, D., Rechel, E.R. and Carter, L.M. (1990) Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cropping system. *Soil Science Society of America Journal* 54(2), 505–508.
- Meisner, C.A., Bodruzzaman, M., Amin, M.R., Baksh, E., Hossain, A.B.S., Ahmed, M. and Sadat, M.A. (2003) Conservation tillage options for the poor, small landholders in South Asia. In: *Conservation Agriculture, 2003*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Milne, G.D. and Fraser, T. (1990) Establishment of 1600 hectares of dryland species around Oamaru/Timaru. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association* 52, 133–137.
- Milne, G.D., Moloney, S.C. and Smith, D.R. (1993) Demonstration of dryland species on 90 east coast North Island farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 55, 39–44.
- Mitchell, J. (1983) Direct drilling project. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 20 pp.
- Mitchell, J.P., Munk, D.S., Prys, B., Klonsky, K.K., Wroble, J.F. and De Moura, R.L. (2004a) Conservation tillage cotton production systems in the San Joaquin Valley. In: *Proceedings of the Western States Conservation Tillage Conference, 8–9 September 2004, Five Points, California*. Kearney Agricultural Center, University of California Agriculture and Natural Resources, Parlier, California, pp. 57–64.
- Mitchell, J.P., Jackson, L. and Miyao, G. (2004b) *Minimum Tillage Vegetable Crop Production in California*. Publication 8132, University of California Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, 9 pp.
- Moens, R. (1989) Factors affecting slug damage and control measure decisions. In: Henderson, I. (ed.) *Slugs and Snails in World Agriculture*. Monograph 41, The British Crop Protection Council, Thornton Heath, pp. 227–236.
- Monegat, C. (1991) *Plantas de Cobertura do Solo. Características e manejo em pequenas propriedades*. Chapecó, Brazil, 337 pp.
- Morrison, J.E. (1988a) Interactive planter depth control and pneumatic downpressure system. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31(1), 14–18.
- Morrison, J.E. (1988b) Hydraulic downpressure system performance for conservation planting machines. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31(2), 19–23.
- Morrison, J.E., Allen, R.R., Jr, Wilkins, D.E., Powell, G.M., Grisso, R.D., Erbach, D.C., Herdon, L.P., Murray, D.L., Formanek, G.E., Pfost, D.L., Herron, M.M. and Baumert, D.J. (1988) Conservation planter, drill and air-type seeder selection guidelines. *Applied Engineering in Agriculture* 4(4), 300–309.
- Mosier, A., Shimel, D., Valentine, D., Bronson, K. and Parton, W. (1991) Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350, 330–332.
- Mosier, A., Kroez, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. and Van Cleemput, O. (1998) Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225–248.

- Nichols, K.A. and Wright, S.F. (2004) Contributions of soil fungi to organic matter in agricultural soils. In: Magdoff, F. and Weil, R. (eds) *Functions and Management of Soil Organic Matter in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 179–198.
- Nix, J. (2001) *Farm Management Pocketbook*, 31st edn. Imperial College at Wye, Ashford, Kent, UK, 256 pp.
- Pangnakorn, U., George, D.L., Tullberg, J.N. and Gupta, M.L. (2003) Effect of tillage and traffic on earthworm populations in a vertisol in South-East Queensland. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*, Elsevier, Netherlands, pp. 881–885.
- Papendick, R.I., McCool, D.K. and Krauss, H.A. (1983) Soil conservation: Pacific Northwest. In: Dregne, H.E. and Willis, W.O. (eds) *Dryland Agriculture*. Agronomy Monograph 23, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Paul, E., Paustian, K., Elliott, E.T. and Cole, C.V. (eds) (1997) *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., VanNoordwijk, M. and Woomer, P.L. (1997a) Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Management* 13, 230–244.
- Paustian, K., Collins, H.P. and Paul, E.A. (1997b) Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A. et al. (eds) *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 15–49.
- Pellow, R.W. (1992) The potential for transplanting seedlings by no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 87 pp.
- Pidgeon, J.D. (1981) A preliminary study of minimum tillage systems (including broadcasting) for spring barley in Scotland. *Soil and Tillage Research* 1, 139–151.
- Poesen, J., Wesenael, B., Govers, G., Martinez-Fernandez, J., Desmet, B., Vandaele, K., Quine, T. and Degraer, G. (1997) Patterns of rock fragment covered generated by tillage erosion. *Geomorphology* 18, 193–197.
- Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) (1993) *Pasture Renovation Manual*. AgResearch. Hamilton, New Zealand, 151 pp.
- Praat, J.P. (1988) A study of seeding depth with direct drilled peas. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 78 pp.
- Praat, J.P. (1995) Row spacing and seedling rate interactions in perennial ryegrass and tall fescue swards established by direct drilling. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 213 pp.
- Pradhan, G., Khan, S.U., Justice, S. and Gami, V.K. (1997) Farmer participatory research on the Chinese hand tractor. In: Hobbs, P. and Rajbandari, N. (eds) *Proceedings of the Rice–Wheat Research End-of-Project Workshop, 1–3 October 1997, Hotel Shangrila, Kathmandu, Nepal*. Nepal Agricultural Research Council (NARC), International Maize and Wheat Improvement Centre (CIMMYT) and Rice–Wheat Research Consortium, Mexico DF.
- Prior, S.A., Runion, G.B., Torbert, H.A., Rogers, H.H. and Reeves, D.W. (2003) Effects of elevated atmospheric CO₂ on biomass production and C sequestration: conventional and conservation cropping systems. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 943–947.
- Radford, B.J., Davis, R.J., McGarry, D., Pillai, U.P., Rickman, J.F., Walsh, P.A. and Yule, D.F. (2000) Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil and Tillage Research* 54, 155–170.
- Radford, B.J., Wilson-Rummenie, A.C., Simpson, G.B., Bell, K.L. and Ferguson, M.A. (2001) Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil Biology and Biochemistry* 33(12–13), 1869–1872.
- Radford, R. and Yule, D. (2003) Compaction persists for five years after cessation of wheel traffic on a Vertisol in Central Queensland. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 949–954.
- Ralisch R. et al. (1998) In: *Encontro Latinoamericano de Plantio Direto NA Pequena Propriedade, III*. IAPAR, Pato Branco.
- Rasmussen, P.E. and Rohde, C.R. (1988) Long-term tillage and nitrogen fertilization affects on organic N and C in a semi-arid soil. *Soil Science Society of America Journal* 44, 596–600.
- Rawson, H.M. (2004) *Report of the Team Leader, FAO Second Mission: March 9 to April 13, 2004. Project Titled 'Intensification of Sustainable Production of Wheat and Rice–Wheat Systems'*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

- Reicosky, D.C. (1990) Canopy gas exchange in the field: closed chambers. *Remote Sensing Reviews* 5(1), 163–177.
- Reicosky, D.C. (1997) Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 273–285.
- Reicosky, D.C. (1998) Strip tillage methods: impact on soil and air quality. In: Mulvey, P.J. (ed.) *Environmental Benefits of Soil Management. Proceedings of the ASSSI National Soils Conference, Brisbane, Australia*, pp. 56–60.
- Reicosky, D.C. (2001a) Conservation agriculture: global environmental benefits of soil carbon management. In: Garcia-Torres, L. *et al.* (eds) *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. XUL, Cordoba, Spain, pp. 3–12.
- Reicosky, D.C. (2001b) Tillage-induced CO₂ emissions and carbon sequestration: effect of secondary tillage and compaction. In: Garcia-Torres, L. *et al.* (eds) *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. XUL, Cordoba, Spain, pp. 265–274.
- Reicosky, D.C. and Lindstrom, M.J. (1993) Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal* 85, 1237–1243.
- Reicosky, D.C. and Lindstrom, M.J. (1995) Impact of fall tillage on short-term carbon dioxide flux. In: Lal, R. *et al.* (eds) *Soils and Global Change*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 177–187.
- Reicosky, D.C., Wagner, S.W. and Devine, O.J. (1990) Methods of calculating carbon dioxide exchange rates for maize and soybean using a portable field chamber. *Photosynthetica* 24(1), 22–38.
- Reicosky, D.C., Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas, C.W., Jr and Rasmussen, P.E. (1995) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 253–261.
- Reicosky, D.C., Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas, C.W. Jr., Rasmussen, P.E. (1996) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Proceedings National No-Tillage Conference, St Louis, Missouri, USA*. 07–105. Lessiter Publications, Brookfield, Wisconsin.
- Reicosky, D.C., Evans, S.D., Cambardella, C.A., Allmaras, R.R., Wilts, A.R. and Huggins, D.R. (2002) Continuous corn with moldboard tillage: residue and fertility effects on soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(5), 277–284.
- Ribeiro, M.F.S. (2004) *Farmer's Perception, Impacts and Dissemination Issues of Conservation Agriculture/Labour Saving Technologies. Report of IFAD/FAO/DMC. Case Study in Tanzania*, 61 pp.
- Ribeiro, M.F.S., *et al.* (1993) Implicacoes do plantio direto em pequenas propriedades no Centro-Sul do Parana. In: *Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade 1*. Instituto Agronomico do Parana, Ponta Grossa, Brazil, pp. 271–280.
- Ribeiro, M.F.S., Benassi, D.A., Siqueira, E.M., Milleo, R.D.S., Hennerich, J.E., Richter, S. and Kriek, R. (1998) Avaliação de semeadoras de plantio direto a tração animal, safra 1999/2000. In: *Encontro Latinoamericano de Plantio Direto NA Pequena Propriedade, III, 1998*. IAPAR, Pato Branco.
- Ritchie, W.R. (1982) Aspects of seed transfer within a direct drilling coulter (opener). Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 148 pp.
- Ritchie, W.R. (1986a) Pasture renovation by overdrilling. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association* 47, 159–164.
- Ritchie, W.R. (1986b) Pasture renovation or pasture renewal: *New Zealand Dairy Farming Annual* 136–143.
- Ritchie, W.R. (1988) Turf renovation – an equipment viewpoint. *New Zealand Turf Management Journal* 2(1), 20–22.
- Ritchie, W.R. and Baker, C.J. (1987) A field programme for evaluating direct drilling technology. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 17, 77–82.
- Ritchie, W.R. and Cox, T.I. (1981) Towards precision sowing in uncultivated ground. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 123–132.
- Ritchie, W.R., Wrigley, M.P. and Hill, K. (1994) The seed-rate debate – the last word? *New Zealand Turf Management Journal* August, 26–27.
- Ritchie, W.R., Baker, C.J. and Hamilton-Manns, M. (2000) *Successful No-tillage in Crop and Pasture Establishment*. Caxton Press, New Zealand, 96 pp.
- Rizzardi, M., Boller, W. and Dalloglio, R. (1994) Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29(8), pp.1231–1236.
- Robert, M. (1996) Aluminum toxicity a major stress for microbes in the environment. In: Huang, P.M. *et al.* (eds) *Environmental Impacts, Vol. 2, Soil Component Interactions*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 227–242.

- Robertson, G.P., Paul, E. and Harwood, R.R. (2000) Greenhouse gases in intensive agriculture: contribution of individual guesses to the radiate of forcing of the atmosphere. *Science* 289, 1922–1925.
- Robinson, G.S. (1957) What pastures should be overdrilled? In: *Massey Agricultural College Dairy Farmers' Conference, New Zealand*, pp. 71–76.
- Robinson, G.S. and Cross, M.W. (1957) Overdrilling pumice pastures. *New Zealand Journal of Agriculture* 95, 283–288.
- Ross, C. (2001) *A Tick for No-till*. Soil Horizons Issue 5, Manaaki Whenua – Landcare Research, Lincoln, New Zealand.
- Ross, C. (2002) The structure and function of untilled soils. In: *Proceedings of the Monsanto Conservation Agriculture Seminars, February, Taupo and Ashburton*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 27–37.
- Ross, C., Saggar, S., Yeates, G.W., Dando, J. and Shepherd, T.G. (2000) Soil quality under long-term cropping by no-tillage and conventional cultivation, and permanent pasture in the Manawatu. In: *Extended Abstracts, Proceedings of the NZSSS/ASSSI Soil 2000 Conference, 3–8 December, Lincoln University*. New Zealand Society of Soil Science and Australian Society of Soil Science.
- Ross, C., Dando, J., Saggar, S., Yeates, G. and Shepherd, T.G. (2002a) Soil quality under long-term cropping by no-tillage compared with conventional cultivation, and with permanent pasture. In: *Proceedings Soil Quality and Sustainable Land Management Conference, NZ Association Resource Management, 3–5 April 2002*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 41–45.
- Ross, C., Saggar, S., Yeates, G., Dando, J. and Shepherd, T.G. (2002b) Soil quality under long-term cropping by no-tillage compared with conventional cultivation and permanent pasture. In: Currie, L.D. and Loganathan, P. (eds) *Dairy Farm Soil Management*. Occasional Report No. 15, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 119–126.
- Row, C., Sampson, R.N. and Hair, D. (1996) Environmental and land-use changes from increasing forest area and timber growth. In: Sampson, R.N. and Hair, D. (eds) *Forest and Global Change, Vol. 2: Forest Management Opportunities for Mitigating Carbon Emissions*. American Forests, Washington, DC.
- Rice–Wheat Consortium (RWC) Website. Available at: <http://www.rwc-prism.cgiar.org/rwc>
- Ryan, D.L., Hay, R.J.M. and Baker, C.J. (1979) Response of some ryegrass cultivars to over-drilling in Southland. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 40, 136–144.
- Sa, J.C.D., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Venske, S.P., Piccolo, M.C. and Feigl, B.E. (2001) Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1486–1499.
- Sah, R.P., Tripathi, J., Sah, G. and Bhattarai, S. (2004) National Coordinators Report for the Regional Technical Coordination Committee, RWC. In: *Proceedings of RSC/RTCC Meeting, Islamabad, Pakistan, January 2004*.
- Salmon, R. (2005) Brassica seed treatment trials. In: *Proceedings of Cross Slot No-Tillage Systems Annual Conference*, Methven, New Zealand. Baker No-Tillage Ltd, Feilding, New Zealand.
- Sangoi, L. (1990) Arranjo de plantas e características de genótipos de milho em solos níveis de fertilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 25(7), 945–953.
- Saxton, K.E. (1988) Conservation of soil water by residue and tillage. In: *Proceedings of the International Commission on Irrigation and Drainage Symposium*. Vol. 4, *Regional and Local Water Management Systems*. Dubrovnik, Yugoslavia, pp. 291–298.
- Saxton, K.E. (1990) Criteria for conservation-tillage and the cross-slot opener. In: *Proceedings of the 12th Annual Manitoba North Dakota Zero-Tillage Workshop, January 17–19, Bismark, North Dakota, USA*, pp. 69–80.
- Saxton, K.E. and Baker, C.J. (1990) The Cross Slot drill opener for conservation tillage. In: *Proceedings of the Great Plains Conservation Tillage Symposium, Bismark, North Dakota, USA*, Great Plains Agricultural Council Bulletin No. 131, Bismark, North Dakota, pp. 65–72.
- Saxton, K.E., Bristow, K.L., Omer, M.A. and Flerchinger, G.N. (1988a) Tillage and crop residue management for water conservation. In: *Proceedings International Conference on Dryland Farming, Amarillo, Texas, USA*. Texas Agricultural Experiment Station, Bushland, Amarillo, Texas, pp. 493–497.
- Saxton, K.E., McCool, D.K. and Kenny, J.F. (1988b) Tillage and residue impacts on infiltration. In: *Conference Proceedings of International Conference on Infiltration Development and Application, Honolulu, Hawaii, USA*, pp. 508–516.
- Sayre, K.D. and Hobbs, P.R. (2004) The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In: Lal, R., Hobbs, P., Uphoff, N. and Hansen, D.O. (eds) *Sustainable Agriculture and the Rice–Wheat System*. Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 337–355.

- Schimitz, H., Sommer, M. and Walter, S. (1991) *Animal Traction in Rainfed Agriculture in Africa and South America: Determinants and Experiences*. GATE/GTZ, Wiegand, pp. 102–103.
- Schlesinger, W.H. (1985) Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: Trubalwa, J.R. *et al.* (eds) *The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*. Springer Verlag, New York, pp. 194–220.
- Schumacher, T.E., Lindstrom, M.J., Schumacher, J.A. and Lemme, G.D. (1999) Modelling spatial variation and productivity due to tillage and water erosion. *Soil and Tillage Research* 51, 331–339.
- Scotter, D.R. (1976) Liquid and vapour phase transport in soil. *Australian Journal of Soil Research* 14, 33–41.
- Shepherd, T.G., Parshotam, A. and Newman, R.H. (2006) Dynamics of organic carbon fractions and physical properties of a clayey soil continuously cropped and then returned to pasture. *European Journal of Soil Science* (in press).
- Siqueira, R. and Araújo, A.G. (1999) Máquinas para o manejo mecânico das plantas e dos resíduos culturais. In: Castro Filho, C. and Muzilli, O. (eds) *Uso e Manejo dos Solos de Baixa Aptidão Agrícola*. IAPAR Circular Técnica, Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Brazil, pp. 124–138.
- Siqueira, R. and Casão, R., Jr (2004) *Trabalhador no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e sementeira no sistema plantio direto*. SENAR, Curitiba, Brazil, 87 pp.
- Sisti, C.P.J., dos Santos, H.P., Kohmann, R., Alves, B.J.R., Urquiaga, S. and Boddey, R.M. (2004) Changing carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 76, 39–58.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. and Paustian, K. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241, 155–176.
- Six, J., Ogle, S.M., Breidt, F.J., Conant, R.T., Mosier, A.R. and Paustian, K. (2004) The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long-term. *Global Change Biology* 10, 155–160.
- Skidmore, E.L., Kumar, M. and Larson, W.E. (1979) Crop residue management for wind erosion control in the Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation* 34, 90–94.
- Smith, O.H., Petersen, G.W. and Needelman, B.A. (2000) Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy* 69, 75–97.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendinning, M.J. and Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* 4, 679–685.
- Soane, B.D. (1990) The role of organic matter in the soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16, 179–202.
- Spoor, G. (1994) Application of mole drainage in the solution of subsoil management problems. In: Jayawardane, N.S. and Stewart, B.A. (eds) *Advances in Soil Science: Subsoil Management Techniques*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 67–107.
- Spoor, G., Tijink, F.G.J. and Weisskopf, P. (2003) Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* 73, 175–182.
- Stibbe, E., Terpstra, R. and Kouwenhoven, J.K. (1980) Effect of spring tillage on seedbed characteristics. Plant establishment and yield of silage corn on a light sandy soil. *Soil and Tillage Research* 1, 47–57.
- Stockfisch, N., Forstreuter, T. and Ehlers, W. (1999) Ploughing effects on soil organic matter after 20 years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil and Tillage Research* 52, 91–101.
- Thom, E.R., Sheath, G.W., Bryant, A.M. and Cox, N.R. (1986) Renovation of pastures containing paspalum: 1. Persistence of overdrilled ryegrass and prairie grass and effect on seasonal pasture production. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 29, 575–585.
- Thom, E.R. and Ritchie, W.R. (1993) Banded versus blanket spraying and direct drilling. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*. AgResearch, Ruakura, Hamilton, New Zealand, pp. 55–58.
- Thompson, C. (1993) The interactions between machine design and soil conditions influencing in-groove vertical seed placement by the Bioblade direct drill. Thesis, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand.
- Tisdall, J.M. (1996) Formation of soil aggregates in the accumulation of soil organic matter. In: Carter, M.R. and Stewart, B.A. (eds) *Structure and Soil Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 57–96.
- Torbert, H.A. and Reeves, D.W. (1995) Traffic and residue management systems: effects on fate of fertilizer N in corn. *Soil and Tillage Research* 33(3–4), 197–213.

- Tracy, P.W., Westfall, D.G., Elliott, E.T., Peterson, G.A. and Cole, C.V. (1990) Carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Science Society of America Journal* 54, 457–461.
- Unger, P.W. (1996) Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil and Tillage Research* 37(1), 67–75.
- United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat (1997) *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat, Bonn, Germany.
- Uri, D.M. (2000) An evaluation of the economic benefits and costs of conservation tillage. *Environmental Geology* 39, 238–248.
- Van Raij, B., Silva, N.M., Bataglia, O.C., Quaggio, J., Hiroce, R., Cantarella, H., Belinazzi, J.R., Jr, Dechen, A.R. and Trani, P.E. (1985) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Boletim Técnico 100, Instituto Agronômico, Campinas, Brazil, 107 pp.
- Veseth, R., Saxton, K.E. and McCool, I.K. (1993) Tillage and residue management strategies for variable cropland. In: *Proceedings. Precision Farming Variable Cropland for Profit and Conservation, Pullman, Washington, USA*, pp. 33–45.
- Vinther, F.P. (1992) Measured in simulated denitrification activity in a cropped sandy and loamy soil. *Biology and Fertility of Soils* 14, 43–48.
- Waggoner, M.G. and Denton, H.P. (1989) Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Science Society of America Journal* 53(4), 120–121.
- Wakelin, A.M., Lorraine-Colwill, D.F. and Preston, C. (2004) Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Research* 44, 453–459.
- Walsh, M.J. (2002) Growing the market: recent developments in agricultural sector carbon trading. In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 375–385.
- Wander, M.M., Bidar, M.G. and Aref, S. (1998) Tillage impacts on depth distribution of total and particular organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1704–1711.
- Wang, X., Gao, H.W. and Li, H.W. (2003) Runoff and soil erosion from farmland under conservation tillage. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*, Elsevier, Netherlands, pp. 1347–1353.
- Webb, B., Blackwell, P., Riethmuller, G. and Lemon, J. (2000) *Tramline Farming Systems Technical Manual*. Bulletin 4607, Department of Agriculture, Western Australia, Perth, 88 pp.
- West, T.O. and Marland, G. (2002) A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 91, 217–232.
- West, T.O. and Post, W.M. (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1930–1946.
- Wilkins, D.E., Bolton, F. and Saxton, K.E. (1992) Evaluating seeders for conservation tillage production of peas. *Applied Engineering in Agriculture* 8(2), 165–170.
- Wolkowski, R.P. (1990) Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability and crop growth: a review. *Journal of Production Agriculture* 3(4), 460–469.
- Wolkowski, R.P. (1991) Corn growth response to K fertilization on three compacted soils. *Soil and Tillage Research* 21, 287–298.
- Wuest, S.B. (2002) Water transfer from soil to seed: the role of vapor transport. *Soil Science Society of America Journal* 66(6), 1760–1763.
- Yano, E.H. and Mello, L.M.M. (2000) Tamanho do fragmento de guandú (*Cajanus cajan*) manejado com triturador de palhas, rolo-faca e roçadora. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29, Fortaleza, Anais. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola*.
- Yavuzcan, H.G. (2000) Wheel traffic impact on soil conditions as influenced by tillage system in Central Anatolia. *Soil and Tillage Research* 54(3–4), 129–138.
- Young, D.L., Kwon, T.J. and Young, F.L. (1994) Profit and risk for integrated conservation farming systems in the Palouse. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(6), 601–606

Índice alfabético

- Abresurcos, 41
- aberturas horizontales, 60-66
 - comparaciones, 33, 69, 197-200
 - control de profundidad, 122-123
 - diseño, 250
 - distancia entre, 186-188, 228
 - disturbio del suelo, 7-8, 126, 191-196, 286-287
 - disturbio mínimo, 191-192
 - evaluación de riesgo de los diseños, 33
 - formas mecánicas de, 47
 - goteo de herbicida, 218, 219
 - labranza cero en pequeña escala, 251-252
 - manejo de residuos, 174-189, 201
 - clavado, 175-176
 - mecanismos de penetración, 128-135, 139
 - pruebas aceleradas de desgaste, 354, 355
 - ranuras verticales, 42-43
 - rebote, 127, 140
 - regeneración de pasturas, 211-212, 213-214
 - resultados óptimos, 119
 - seguimiento de la superficie, 29, 122, 130, 226
 - semillas a medida, 351-352
 - subir y bajar, 227
 - surcadores, 58-60
 - tráfico controlado, agricultura, 293-294
- Abresurcos *véase también* tipos de abresurcos, ej. de disco; tipo azada
- Abresurcos «Baker boot», 62, 63, 220
- Abresurcos de ala en T invertida, 61-63, 229, 230
- aplicación de herbicida, 218, 219
 - barra de arrastre, 134-135
 - colocación de fertilizante, 64, 65, 144-147, 149-151
 - doble o triple vástago, 63, 64
 - profundidad de siembra, 122
- [Abresurcos de ala en T invertida]
- rebote, 127
 - regeneración de pasturas, 213-214, 219-221
 - sistema «Baker boot», 62, 63, 220
 - suelos húmedos, función, 103-106, 108, 110, 111, 116-117
 - versión disco, 34, 64, 65-66, 152, 196, 292-293
- Abresurcos de azada, colocación de pequeños aparatos, 83-86
- Abresurcos de dientes, 251-252, 257
- Abresurcos movidos por la toma de fuerza, 54-55
- daños causados por las piedras, 55-56
 - labranza cero en pequeña escala, adaptación, 257-258
 - manejo de residuos, 54, 174
 - profundidad de siembra, 133
 - suelos húmedos, 103, 108, 110, 111
- Abresurcos tipo azada, 52-54, 69
- colocación de fertilizantes, 153, 154
 - colocación de semillas, 126-127
 - disturbio del suelo, 126
 - manejo de residuos, 54, 174-175
 - ranura con cobertura, 80, 81-83
 - rebote, 127
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - requisitos de fuerza, 230
 - sobrevivencia superficial, 91
 - suelos húmedos, 102-103, 109, 110-111, 114
- Abresurcos tipo disco
- agricultura con tráfico controlado, 293-294
 - apretado de los residuos, 126
 - comparación de características, 33, 196, 199-200
 - doble disco, 69
 - angulado, 49-50, 102

- [Abresurcos tipo disco, doble disco]
 - – colocar semillas, 126, 127
 - – distintos tamaños, 43, 44
 - – excéntrico, 43, 43
 - – inclinados, 48
 - – pequeña escala, 253
 - fuerzas de penetración, 182, 187
- Abresurcos tipo disco angular, 33, 42-47, 176, 233
- Abresurcos *véase* tipo azada
- Abresurcos verticales, 140
- Abresurcos vibradores, 60
- Ácido acético, 111, 112, 195, 196
- Acumulación de carbono en el suelo, beneficios, 320-321
- Agricultores
 - almacenamiento de carbono en el suelo, 321
 - cultivos forrajeros, 204
 - precisión (riesgo) en la labranza cero, 21, 223-224
- Agricultura con residuos, definición, 4
- Agricultura con tráfico controlado
 - beneficios, 285-286, 308
 - cambios permanentes, 301-303
 - definición, 285
 - diseño de campo/manejo de sistema, 300-301
 - economía, 304-307, 308
 - implementación, 296-298
 - implicaciones para operaciones de labranza cero, 290-294
 - implicaciones para suelos y cultivos, 294-296
 - limitaciones, 296
 - planificación, 296
 - principios, 296
- Agricultura de conservación, 14-15
 - definición, 4, 14
 - principios, 14-15
- Agricultura intensiva, principios, 277-278
- Agricultura sostenible, 4, 13
- Agua, hidróxido de amonio, 150, 157
- Agua/humedad del suelo, 7, 18, 96, 193
- Agua/humedad del suelo y germinación de las semillas, 88-89
 - fase líquida, 89, 90
 - germinación de las semillas, capacidad de retención de agua, 8, 17, 18
 - – fase de vapor, 88-89, 198
 - germinación de las semillas y fauna del suelo, 26
 - germinación de las semillas y ranura con cobertura, 75-77, 78
 - infiltración, 7, 21, 115-117, 195
 - medición experimental, 342-343
 - pérdida, 87-88
- Ahorro de tiempo, 7
- Aire comprimido *véase* compactación del suelo, 130-131
- Aireación del suelo, 7, 109, 112, 113, 334-335
- Alambre, 26
- Alelopatía, 196
- Algodón, 5, 295
- Alisado, 101, 102, 103, 112
 - compactación, 349
 - – abresurco tipo disco, 199
- Almacenamiento y entrega de los productos, 241-243
- Amoniaco, escape de, 151
- Ancho de las operaciones, 223-224, 225
- Ancho de los equipos, 297-300
- Animales, daño por el pisoteo, 205, 206
- Animales salvajes, 163
- Arado de vertedera, 19
- Arado de vertedera *véase también* labranza (convencional)
- Arado de vertedera y emisiones de carbono, 23, 311-312
- Arado «Fucador», 257
- Arroz,
 - melgas en seco, 265
- Arroz-trigo, rotaciones, 265
- Arroz bajo labranza cero, 260, 261
- Arvejas, 96, 165, 328
- Asia, área de la pobreza, 267
 - labranza cero en pequeña escala, 258, 272
 - pobreza en, 266
 - tecnologías de transición, 267
- Avena
 - Avena fatua*, 292
 - Avena negra, 172-173
 - Avena strigosa*, *ver* avena negra, 172
- Babosas, 26, 280-282, 295
 - control, 280-282, 327
- Bandas, 123
- Bangladesh, 262, 266, 267, 268
- Barbecho químico, 3, 211
- Barras, cobertura, 81, 82, 83
 - paja, 167-168
- Barras portaherramientas
 - tractores de cuatro ruedas, 262
 - tractores de dos ruedas, 266-267
- Barro, desprendimiento de las ruedas, 125
- Bevin, Alsiter, 6
- Biocanales, 10, 141
- Biocombustibles, 22

- Bióxido de carbono
 – emisiones, 21, 23-24, 311
 – medidas de emisión, 312
- Borlaug, Norman, 2
- Brasil, 253, 318, 320
- Brassica, 205
 – colocación de fertilizante, 152
 – distanciamiento de las semillas, 135-136
 – profundidad de siembra, 121
- Bueyes, 266
- Cajanus cajan*, 173
- Cal, aplicación de, 278, 280
- Calidad del agua, 34
- Cama de semillas, 4
- Cambridge, rodillos, 79
- Campo, apariencia, 11
 – diseño, 300
- Capa freática en ascenso, 114
- Capa seca, 88
- Capas, polvo, 88
- Capas (fajas), 93
- Capas *ver también* residuos
- Capas y humedad del suelo, 89
- Carbón, contenido de plántulas, 155
 – suelo, *ver el carbono orgánico del suelo*
- Carbono, ciclo del, 22
 – comercio del, 23-24, 321-322
 – equivalentes (CE), 22
 – secuestro de, 23, 311, 317
 – – beneficios, 321-322
- Cationes, capacidad de intercambio de, 21
- Cebada de primavera, 295
- Cercospora, 295
- Cereales, producción mundial, 2
- Chlorpyrifos*, 280, 281, 283, 327, 328
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México), 262, 269, 271
- Circuito cerrado de televisión, 309
- Clima, 29-30, 34
- Cobertura vertical, 174, 189
- Colocación de semillas
 – abresurcos movidos por toma de fuerza, 54
 – superficie siembra a voleo, 67-68, 107, 108, 109, 113
- Colocación del fertilizante, 9, 10, 11, 27, 174-142, 216-217, 282
 – abresurcos con alas versión disco, 64, 65, 145, 149-150
 – abresurcos tipo disco, 48, 150
- [Colocación del fertilizante]
 – aparatos para dosificar el, 254-255
 – bandas, 142-144, 153-158, 133-134, 196
 – – fertilización a distancia, 156, 157, 158
 – bandas verticales/horizontales, 144-151
 – costos, 279, 334
 – labranza cero en pequeña escala, 251
 – método de «saltar», 153-155
 – raigrás, 216, 217
 – rendimiento de los cultivos, 150-156
 – siembra a voleo, 141, 142, 143, 281
 – técnicas experimentales, 356-357
 – tipos de abresurcos, 33, 34, 199
- Combustible, uso, 7, 23-24, 325-326, 329
- Compactación del suelo, 20, 102
 – comparación de abresurcos tipo disco, 199
 – pisoteo del animal, 205
 – tolerancia de las lombrices de tierra, 111
 – zona de la ranura, 46, 101, 195
- Compactación histórica, 6
- Comparaciones económicas
 – costo-beneficio de sembradoras avanzadas, 284-285, 325, 333, 334
 – Europa, 333-334
 – factores que inducen a error, 325-326
 – niveles para labranza cero, 325
 – Nueva Zelanda, 327-328
 – tráfico controlado de agricultura, 304-307, 308
 – labranza-labranza cero, 35-37
- Configuración del remolque, 236-238, 239
- Contacto suelo-semilla, 89-90, 97-98, 194-195
- Contaminación, 8
- Control automático de la fuerza de penetración, 133
- Control de maleza, 15, 274-275
 – arroz bajo labranza cero, 261
 – química, 32, 35, 166
 – tráfico controlado, agricultura, 292-293
 – tratamiento mecánico, 173
- Control de maleza *véase también* herbicidas
- Control de profundidad, 122-123, 199
- Cosechadora, 67-68
 – distribución de paja, 167, 168
- Costos, 8, 11
 – economía, 327-329, 335
 – operación, 331
 – regeneración de pasturas, 215-216
- Costos *ver también* comparaciones de costos
- Cuchillos rotativos, 169-173
- Cultivo, tierra retirada del, 207
- Cultivos, 223
 – fracaso de los, 7, 197

[Cultivos]

- modificación genética de los, 3
- rango de, 295-296
- Cultivos de cobertura muertos, 165, 174
- Cultivos forrajeros, 204

- Daño por pisoteo, 205-206
- Daños causados por las piedras, 55-56
- Daños del suelo, 205-207
 - desplazamiento, beneficios, 321-323
 - - calidad, 19-20
 - - capacidad de almacenamiento, 316
 - - carbono orgánico, 6, 14, 21
 - - erosión, 7, 18-19, 29-30
 - - labranza cero, 6, 17-17, 318-319, 321-322
 - - manejo de la fertilidad del suelo, 275, 280
 - - materia orgánica, 7, 17, 153
 - - medida, 348
 - - pérdidas gaseosas, 312-313
 - desplazamiento instantáneo, 348
- Denitrificación, 288
- Densidad, medida, 348
- Densidad de siembra, 276-277, 326
 - cálculo, 276
 - tráfico controlado, agricultura, 294-295
- Depreciación, 326, 228-229, 331
- Deroceras reticulatum* ver babosas
- Difusión de oxígeno
 - medidas experimentales, 343-345
 - suelos, 112, 114
- Diquat, 2
- Disco tipo abresurcos,
 - disco triple, 43-46, 69, 115, 229, 230
 - raspadores, 186, 187
 - siembra en suelos húmedos, 101, 106, 108-110
- Discos
 - arrastre por medición, 352-253
 - rastreo, 3
 - sembradoras en pequeña escala, 250
 - semillas expulsadas por, 125, 127
- Discos de borde ondulado «turbo discos», 45
- Diseño de la barra de arrastre, 133-134, 188-189
 - arreglo en diagonal, 188
 - carga de los brazos, 235
 - opciones para el enganche, 231-234
 - paralelogramo, 134-135, 220, 233-234
- Disponibilidad de expertos, 11, 333
- Distanciamiento de las semillas, 119-120, 135-140
 - colocación, 253
 - cultivos forrajeros, 182, 222

[Distanciamiento de las semillas]

- medida, 348
- sembradoras de precisión, 120, 137, 249
- sembradoras para labranza cero, 241-242
- Disturbio de suelo/ranura, 5-6, 126, 286-287
 - comparaciones abresurcos tipo disco, 196
 - efectos, 195-198
 - máximo, 193-195
 - mínimo, 191-194, 251
- Drenaje, 8, 274, 301
- Drenes topo, 301

- Emergencia de las plántulas
 - comparación de abresurcos tipo disco, 199, 200
 - suelos húmedos, 107-110
 - suelos secos, 94
- Emergencia de las plántulas y colocación de fertilizantes, 143-150, 156, 157
- Emergencia de las plántulas y profundidad de siembra, 121-122
- Emergencia de las plántulas y ranura con cobertura, 76-77, 78
- Emergencia de las plántulas y residuos, 107
- Encostrado, 101
- Enfermedades, 9, 26, 196
- Enfermedades, control de, 275
- Erosión eólica, 19
- Escorrentía, 18-19
- Espacimientto en el surco, 199
 - pasturas/especies forrajeras, 208-209, 210
- Estrés fisiológico, 27, 28
- Exudados alelopáticos, 27

- Faulkner, Edward, 6
- Fertilizantes
 - colocación de, 152-154
 - nitrógeno, 150, 319-320
 - tolvas, almacenamiento, 241-242
 - toxicidad, 32, 35, 142-143
- Festuca alta (*Festuca arundinacea*), 209-210
- Flexibilidad del tiempo, 7
- Formas de ranuras
 - horizontal, 60-66
 - microambiente, 33, 34, 193, 338-342
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - vertical, 42-60
- Formas de ranuras y emergencia de plántulas, 93-97
- Formas de ranuras y germinación de las semillas, 89, 90

- Formas de ranuras y humedad del suelo, 74-75, 91
 Formas de ranuras y sobrevivencia superficial, 90-93
 Fosfato diamónico, fertilizantes, 153, 154
 Fósforo del suelo, 8, 10, 288
 Frijol mungo, 271
 Fuerzas de penetración, 187-188, 199, 230
 – abresurcos movidos por toma de fuerza, 54-55
 – abresurcos vibradores, 60-61
 Fuerzas de penetración, disco tipo abresurco, 200
 Fuerzas de penetración, mecanismos de control, 127-135, 139, 199
 – rango, 199
 – restablecimiento, 234-235
 – sembradoras a gran escala, 229-233
 – sembradoras para labranza cero, 249-250
 Fuerzas de penetración variables, 228
- Gaeumannomyces graminis*, 26
 Gas-aceite, sistemas, 131-133, 135, 139-140
 Gases de invernadero, 311
 – aportación de la agricultura, 311
 – emisiones de nitrógeno, 319-320
 – política de créditos, 321-322
 Gases de invernadero *ver también* bióxido de carbono (CO₂)
 Germinación de las semillas, 28, 89, 90
 – disturbio mínimo de la ranura, 192-193
 – ranuras con cobertura, 76-77, 78
 Germinación de las semillas y colocación de fertilizantes, 149
 Germinación de las semillas y humedad del suelo, 89, 91
 Germinación *ver* germinación de las semillas
 Glifosato, 2, 218, 280, 281, 283
 – costos de uso, 327
 Glomalina, 316
Glycine max *ver* soja
 Gorgojo argentino del tallo, 280, 283
 «Green bridge» concepto, 26
 Green Fields Forever (Little), 1
 «Ground Hog», 280
- «Happy seeder» sembradora feliz, 265, 266, 272
 Herbicidas, 2, 10, 32, 34-35, 166
 – aspersión en banda, 212-221
 – costos de uso, 327
 – planificación de uso, 280
 – selección de, 275
 Herbicidas en bandas, aplicación, 212-216
 – – equipamiento, 218-220
 Hifas de los hongos, 316
 Humedad relativa (HR)
 – medición directa, 343
 – ranuras del suelo, 74-75, 193
- Imágenes con rayos X, 350, 351
 India, 262, 267
 Infiltración, 7, 21, 195
 – medición, 345
 – suelos húmedos, 114
 Insecticidas, 241-243
 Insumo
 – disminución, 16
 – energía, 21-22, 325-326
- Kyoto, protocolo de, 311, 321, 323
- Labranza cero, 6
 – agua en el suelo, 18
 – beneficios, 13-14
 – calidad del suelo, 19-20
 – conservación de equipos, 11, 330-331, 332-333
 – contratación, 37, 327, 332
 – definición, 3
 – emisiones y secuestro de carbono, 23-24
 – erosión del suelo, 18-19
 – insumo de energía, 21-22
 – materia orgánica del suelo, 17, 18, 222-324
 – orígenes, 3
 – producción de cultivos, 15, 22
 – reciclaje de nutrientes, 20
 – terminología, 39906
 Labranza cero en pequeña escala,
 – Asia, 258-260
 – beneficios, 247
 – características, 247
 – manejo de los residuos, 167-172
 – maquinaria, requisitos de potencia y facilidad de manejo, 255-256
 – – sembradoras en línea, 249-257
 – – tracción animal, 257, 260
 – – tractores de cuatro ruedas, 261-262
 – – tractores de dos ruedas, 266-272
 – maquinarias adaptadas para cultivadores a motor, 257

- Labranza convencional, 1-39
- capas superficiales, pisoteo, 205
 - cobertura para las semillas, 72-74
 - colocación de fertilizantes, 148
 - – respuesta, 141
 - costes, 35-36
 - emisiones de carbono, 23, 312-314
 - historia de, 198, 273-274
 - riesgo, 278
 - rotación de cultivos, 205
 - secuestro de carbono del suelo, 317, 318
 - suelos húmedos, 105
- Labranza de conservación, 4
- Labranza en caballones, 4
- Labranza en fajas, 4, 57, 74, 96, 174, 214, 257, 262
- labranza cero en pequeña escala, 269-272
 - manejo de residuos, 174
 - sembradoras para, 262-263, 264
- Labranza en fajas en melgas permanentes, 271
- Labranza en fajas y flujo del dióxido de carbono, 312, 313-314
- Labranza mínima, 4, 224, 333-335
- Labranza química, 4
- Laderas, 19, 51, 119, 242, 257
- Leguminosas
- distanciamiento de las semillas, 135-136
 - pastos, 217
 - rotación de los cultivos, 318-320
- Lentejas, 258
- Little, Charles, 1
- Lixiviación, 21
- Lluvias, 29
- monzones, 265
- Lluvias y emergencia de plántulas, 96-97
- Lolium perenne* véase raigrás
- Lolium rigidum* véase raigrás, 292
- Lombrices de tierra, 7, 11, 20, 26, 274
- aireación del suelo, 112, 113, 334-335
 - canales, 141
 - compactación y alisado, 112
 - efectos de la ausencia, 109-111
 - suelos húmedos, 103, 104, 106-111, 115
- Lombrices de tierra y disturbio de la ranura, 194
- Lombrices de tierra y residuos de la superficie, 106-107, 115
- Lupino (*Lupinus angustifolius*), 5, 78, 120, 121, 139
- Macroporos, 74, 104
- Maíz
- colocación de fertilizantes, 142, 143, 151-152
 - ranuras con cobertura, 77, 78
- Malezas, 8
- cambio de las especies dominantes, 10, 275
 - raigrás, 209-210
- Manejo
- capacidad del operador, 277
 - control de la maleza, 274-275
 - densidad de siembra, 276-277
 - fertilidad del suelo, 275, 280
 - pestes/enfermedades, control, 275
 - planificación, 278-279
 - prototipo y estrategias, 356-362
 - selección y preparación del lugar, 273-274
- Manejo de los caminos, ruedas, 301-302, 309
- Manejo de los residuos, abresurcos adyacentes, 186-188
- abresurcos de ala versión disco, 64-65
 - abresurcos movidos por toma de fuerza, 55, 175
 - abresurcos tipo azada, 54-55
 - abresurcos tipo disco, 126, 175-176, 180-185, 250, 257
 - apretado de la ranura, 112, 126, 175-176, 195-196, 197, 250, 257
 - comparaciones de abresurcos, 33, 34, 197
 - cultivos forrajeros, 161-162
 - disturbio máximo de la ranura, 193
 - pequeños agricultores, 257
 - raspadores/deflectores, 186, 187, 188
- Manejo de los residuos (micromanejo), 32, 174-189, 191-192
- Manejo post-siembra, 277
- Mano de obra, 7, 326
- Máquina «colear», 50
- Maquinaria, 8
- costo-beneficio de sembradoras avanzadas, 37-38, 284, 333, 334
 - costos de adquisición, 327-331
 - depreciación, 326, 328-329, 331
 - desgaste, 200, 289, 354, 355
 - funcionamiento de la, 31-32
 - rendimiento de los cultivos, impacto, 37-39
 - uniformización del ancho de los equipos, 297-300
- Maquinaria véase también tipo de equipo
- Maquinaria usada, 330-331, 332-333
- venta, 326
- Matraca (sembradoras mecánicas manuales), 248-249
- Medicago sativa*
- Melgas permanentes, 269
- Melones, 296
- Metano, 288, 321

- México, 265, 271
- Microambiente de las semillas dentro de la ranura, 33, 34, 193, 338-342
- Mineralización, 141, 152-153, 158
- Montmorilloníticas, 104
- Montones alineados, esparcimiento, 166-168
- Monzones, 265
- Nepal, 262, 267
- Nieve, 162
- Nitrógeno, 7
- contenido en plántulas cultivadas después de la fertilización, 155-156
 - fijación, 212
 - pérdida en el suelo, 21, 150, 288, 319-321
- Nitrógeno líquido, 158
- Niveladora, 280
- Nutrientes, disponibilidad, 141-142, 288
- estrés, 27
 - reciclaje, 20
- Operador
- capacidad del, 10, 277
 - maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256-257
- Paja, 168, 168, 175
- clavado con abresurcos, 175
 - cortar, 164, 177-178
 - corte en el campo, 178-183
 - distribución de, 166-168
 - niveles de, 114
 - rastrojos limpios, 162-163
 - residuos verticales, 178, 179
- Paja húmeda comparada con seca, 186
- Paraquat, 2, 35, 218
- Pastoreo, 161, 207-208
- mejora, 203
- Pastos (raigrás)
- distanciamiento de las semillas, 135-136
 - residuos, 107
- Pasturas, 161-162, 208-221
- altitud, 58
 - colocación de fertilizantes, 142, 216-217
 - manejo de residuos, 161-162
 - regeneración, 207-211
 - renovación, 211-221
 - valor de los agricultores, 203-204
- Pasturas nuevas bajo labranza cero, 8, 283
- Pasturas permanentes, 204
- Penetrómetro con puntas múltiples, 145-146
- Período de transición (conversión), labranza cero, 12, 16, 273-274
- Pesas, fuerza de penetración, 133, 249-250
- Pesticidas
- costos, 328
 - incorporación/manejo, 9, 243
- Picadora de forraje, 173
- Plagas, 9, 11, 15, 26
- control de, 275, 280, 281, 283, 327
- Planificación, 278-279, 297
- Plántulas
- estrés fisiológico, 27, 28
- Plántulas retorcidas, 282
- Plástico, ranuras con cobertura de fajas de, 93
- Ploughman's Folly (Faulkner), 6
- Post-siembra, manejo, 277
- Potencial de humedad de vapor cuantitativo (MVPC), 74-75
- Profundidad de siembra
- cultivos forrajeros, 221
 - medición experimental, 348
 - tabla de evaluación/sembradora, 33
 - tráfico controlado, agricultura, 294
 - uniformidad, 121-128
- Profundidad de siembra y emergencia de las plántulas, 120-121
- Pruebas de desgaste acelerado, 338, 355
- Punto permanente de marchitez, 74
- Rábano, 78
- plántulas, 147
- Rábano forrajero, 153, 154
- Rábanos de verano, 205
- «Rabi» sembradoras, 262, 268
- Raíces, bacterias de las, 26
- Raigrás
- pastos, 209-210
 - residuos, 106
 - suelos secos, 94
- Raigrás (*Lolium rigidum*), 292
- Ranura con cobertura, 119
- arrastre (rastra), 81, 82
 - características de los abresurcos/sembradoras, 33, 197
 - cierre automático, 128
 - clasificación, 71-74, 85
 - cobertura adecuada, 76, 78
 - compresión, 46, 79
 - desvío, 77-79

- [Ranura con cobertura]
 - disturbio mínimo de la, 192-193
 - doblado, 84-85
 - en forma de V, 45-46, 76, 78
 - materia orgánica, 88
 - presión, 80-81, 97-98
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - rodillos, 79-80
 - suelo suelto, 71-74, 85
- Ranura con cobertura y emergencia de las plántulas, 76-77, 78
- Ranura con cobertura y pérdida de humedad, 74
- Ranura con cobertura y tamaño de las semillas, 76-77
- Ranuras en forma de U, 48-60
 - abresurcos de discos angulados, 49-50
 - abresurcos tipo azada, 52-55
 - contacto suelo-semilla, 89-90
 - evaluación de riesgos, 33
 - pérdida de humedad, 74, 93
 - presión, 97
 - sobrevivencia superficial, 91, 92
 - suelos húmedos, 103, 108, 115, 116-117
- Ranuras en forma de U y emergencia de plántulas, 93-97
- Ranuras en forma de V, 42-48
 - cobertura, 46-47, 77
 - contacto suelo-semilla, 89, 194-195
 - evaluación de riesgos, 33
 - pérdida de humedad, 74, 93
 - presión, 97-98
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - sobrevivencia superficial, 90, 92
 - suelos húmedos, 45, 46, 102, 104, 108, 110, 111, 115-116
- Ranuras en forma de V inclinadas, 48
- Ranuras en forma de V y emergencia de plántulas, 93, 94
- Raspadores, limpieza de disco, 186, 187
- Rastrojos, 162-163
- Rendimientos de los cultivos, 7, 11, 15, 325
 - agricultura con tráfico controlado, 294, 305-306
 - colocación de fertilizantes, 150-157
 - comparación de abresurcos tipo disco, 199
 - impacto de las máquinas, 37-38, 279
 - período de transición, 16
- Rentabilidad y variaciones climáticas, 30
- Requerimientos de energía, 21-23
 - combustible, 7, 23-24, 325-326, 329
 - emisiones de carbono, 23
- Requerimientos de fuerza de arrastre
 - equipos gran escala para labranza cero, 230
 - equipos para labranza cero en pequeña escala, 254-255
 - resistencia del suelo, 287
- Requerimientos de potencia
 - maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256-257
 - sembradoras de precisión, 228, 229, 230
- Residuos
 - cobertura, 5
 - descomposición, 26, 111, 141, 172
 - toxicidad de las semillas, 27, 111, 194-195
 - eliminación/quema de, 161, 166, 259
 - labranza cero en pequeña escala, 165-170
 - manejo de los, 161
 - manejo a escala de campo, 165-174, 191
 - manejo de planificación, 278, 283, 284
 - pisoteo de los, 291
 - raíces ancladas, 161-163
 - retención racional de los, 259
 - suelos húmedos, 107-109
 - tráfico controlado en agricultura, 290-292
- Residuos «basura», 11, 161
- Residuos «largos chatos», 189
- Residuos de los cultivos, *ver* manejo de residuos
- Residuos verticales, 178, 179, 189
- Residuos y entrega de las semillas, 137
- Residuos y erosión del suelo, 18, 29-30
- Residuos y flujo de dióxido de carbono, 312-313
- Residuos y lombrices de tierra, 106-107, 115
- Residuos y temperatura del suelo, 162, 194
- Resistencia del suelo, 8, 9, 28, 162, 194, 287
 - compactación, 345-348
 - disponibilidad de nutrientes, 288
 - estructura, 7, 11
 - ranuras en forma de V, 42, 46
 - tráfico controlado, agricultura, 286-288, 290-291
- Rhizoctonia*, 26
- Riegos, necesidad de, 8
- Riesgo, 196
 - clasificación de abresurcos, 33, 34, 197
 - labranza convencional, 276
 - manejo, 280
 - percepción del, 25
- Riesgo biológico, 25-29, 196
- Riesgo económico, 35-38
- Riesgo físico, 29-32
- Riesgo químico, 32-35

- Rodillos
 - aplicación de herbicida, 218-220
 - ranura con cobertura, 79-80
- Rodillos de cuchillos, 171-173
- Rodillos en espiral, 83
- Rotaciones de los cultivos, 205
 - arroz-trigo, 265
 - basados en leguminosas, 320
- Rotatorios para labranza, 55
- Rueda de sostenibilidad ambiental, 17
- Ruedas
 - configuraciones, 236-238
 - control de profundidad, 122-123
 - desprendimiento de barro, 125
 - presión, 46, 79-81, 84, 227
- Ruedas combinadas compresoras/reguladoras, 47, 124, 227
- Ruedas compresoras, 46, 79-81, 84, 124, 227
- Ruedas compresoras anguladas, 84, 85
- Ruedas compresoras semineumáticas, 124-125
- Ruedas de los aparatos, 122-125, 139
- Ruedas reguladoras/compresoras, 79, 124, 227
- Ruedas semineumáticas (presión cero), 101, 124-125, 139

- Seguimiento de la superficie, 29, 122, 130-131
 - fuerza de penetración, 127-135, 139
 - maquinaria a gran escala, 225, 228
 - tabla de evaluación/sembradoras, 33, 135, 136
- Seguridad humana y biológica, 3
- Selección del lugar, 273-274
- Sembradoras, 16-17, 120, 257, 258
 - adaptación de tractores, 240-241
 - almacenamiento y entrega de los productos, 241-243
 - ancho de las operaciones, 223-224, 225-226, 297
 - barra de arrastre, 133-134, 188-189, 230-233, 234
 - fuerza de penetración, 128-135, 229-234
 - labranza reducida, 269, 270
 - precisión, 243
 - prototipos, 356-362
 - regeneración de pasturas, 219-221
 - requerimientos de potencia, fuerza de penetración, 228, 229, 230
 - riesgo de funcionamiento, 31
 - seguimiento de la superficie, 122, 128-136, 130, 136-137, 225-228
 - selección de la, 10
 - tractores de dos ruedas, 266
- [Sembradoras]
 - transporte, 234-237, 239
 - velocidad de operación, 228
- Sembradoras avanzadas, costo-beneficio, 37-38, 284, 325, 333, 334
- Sembradoras de precisión, 120, 240-241
- Sembradoras de precisión (a golpe) con ruedas estrella, 263
- Sembradoras de precisión para tracción animal, 212
- Sembradoras diseñadas con resortes, 128-131
- Sembradoras mecánicas manuales, 205-206, 248-249
- Sembradoras para labranza cero en pequeña escala, 250-257
- Sembradoras para melgas, 263, 269, 271
- Sembradoras *ver también* abresurcos; sembradoras
- Semillas, calidad de las, 28-29
 - cobertura, 67
 - quema de, 29, 32, 142, 153
 - rebote de las, 127, 140
 - toxicidad de las, 27, 111, 194-195
- Semillas de distanciamiento, labranza cero en pequeña escala, 252-253
- Semillas expulsadas, 125, 127
- Semillas *ver también* ranura con cobertura
- Semillas *ver* entrega de semillas que cubre la ranura, 136-139
- Siembra, 10, 281-282
 - suelos húmedos, 101-105, 127
 - suelos secos, 89-98
- Siembra a golpes, 66-67, 68, 263-265
 - mecánicas manuales, 248-249
 - suelos húmedos, operaciones, 107, 108, 110-111, 114
- Siembra césped/cobertura, 4
- Siembra en caballones y surcos, 263
- Siembra en surcos alternados «saltar», 153-154, 196
- Siembra sobre el césped, 4
- Siembra *ver* abresurcos
- Sistema diferencial de posición global (SDPG), 303
 - costos, 308
- Sistema global de posición (GPS), 291, 309
- Sistemas de guía, 293, 303, 308
 - costos, 304, 308
- Sistemas electrónicos, 303
- Sistemas integrados, cultivos en, 161, 205-207
- Sistemas radicales, 10

- Sobrevivencia superficial
- regeneración de pasturas, 213-214
- Sobrevivencia superficial y forma de ranuras, 89-90
- Sobrevivencia superficial y humedad del suelo, 342-343
- Sobrevivencia superficial y ranura con cobertura, 193
- Soja, 5, 127, 128, 156
- Soporte flotante, 125, 139
- Subsolador, 6, 280
- Suelo, paja sobre el, 163-164
- potasio sobre el, 8, 288
- Suelos arcillosos, 104
- Suelos húmedos, 101, 108
- comportamiento de los abresurcos, 111-117
 - infiltración, 115-117
 - perforación, 45, 101-102
 - ranura con cobertura, 78
 - residuos, 107-108
 - suelos secos que se vuelven húmedos, 106-107
- Suelos secos
- emergencia de plántulas, 93-97
 - experiencias de campo, 98
 - germinación de las semillas, 89-90
 - pérdida de humedad, 87-88
 - ranura con cobertura, 78, 97-98
 - ranuras en forma de V, 42
 - sobrevivencia superficial, 90-93
- Superficie, uniformización de la, 274
- Superficie de siembra a voleo, 33, 67-68, 107, 108, 109, 141, 142, 143, 150-153, 281-282
- Superfosfato potásico, 149
- Surcadores, 58, 60, 69
- Surcos, limpiadores de, 176
- Surcos angostos, cultivos en, 192
- Tamaño de la semilla y distanciamiento, 135-136
- Tamaño de la semilla y emergencia de las plántulas, 76-77
- Técnicas experimentales y procedimientos
- arrastre en un abresurco de disco, 352, 353
 - colocación de las semillas, 349-350
 - compactación y disturbio del suelo, 345-349
 - desgaste acelerado de abresurcos, 354, 355
 - efectos del fertilizante en bandas, 356
 - prototipos y estrategias de manejo, 356-362
 - ranuras, microambiente de las semillas, 342-345
- [Técnicas experimentales y procedimientos]
- recorridos de las semillas dentro de los abresurcos, 351-352
 - respuesta de las plantas para labranza cero, 338-341
- Tecnologías de transición, 267
- The Awakening (Bevin), 6
- Tierras labradas
- colocación de fertilizante, 150-152
 - estructura, 20
 - pérdida de humedad, 87-88
 - sobrevivencia superficial, 90-91
- T-invertida, 42, 60-62
- cobertura, 193
 - contacto semilla-suelo, 194-195
 - control de profundidad, 124
 - germinación de las semillas, 90
 - microambiente, 28
 - pérdida de humedad, 74, 75, 93
 - presión, 97
 - principio de, 60
 - regeneración de pasturas, 219-221
 - retención gaseosa, 150
 - riesgo biológico, 33
 - separación de semilla y fertilizante, 145, 146
 - sobrevivencia superficial, 90-92
 - suelos húmedos, 103-105, 107, 108, 110, 114
 - suelos secos, 98-99
- Tipo de suelo, 104
- Tolvas, 242-243
- productos, 242-245
- Toxicidad, 27
- descomposición de residuos, 27, 111, 196
 - fertilizante-semillas, 35, 142-143
- Tractores, 8
- adaptación a las sembradoras, 240-241
 - uniformización del ancho de los equipos, 297-300
- Tractores de cuatro ruedas, 261-262
- Tractores de dos ruedas, 266-272
- Traficabilidad, 8, 29-30
- Tráfico, 236, 287-288
- Tráfico controlado de doble huella, sistema de, 298-299
- Trébol, 212
- Trébol rojo, 120-121, 139
- Trifolium pratense* ver trébol rojo
- Trigo
- colocación de fertilizante, 153, 154, 155, 156
 - profundidad de siembra, 121
 - ranura con cobertura, 78

[Trigo]

- riesgo económico en la producción de labranza cero, 37-39
- sembradoras para melgas, 263-265
- suelos secos, 94

Triticum aestivum véase trigo

Urea, fertilizantes, 149-150, 157

Valle de Yaqui, México, 263

Velocidad de operación, 51

- maquinaria a gran escala, 225, 228
- maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256

Zea mays ver maíz

Zona de labranza ver labranza en fajas

Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación

C.J. Baker, K.E. Saxton, W.R. Ritchie, W.C.T. Chamen, D.C. Reicosky, M.F.S. Ribeiro, S.E. Justice y P.R. Hobbs

Este libro es una edición ampliada del volumen previo publicado en 1996 *No-tillage Seeding: Science and Practice*. El objetivo principal continúa siendo la descripción, en términos simples de varios experimentos internacionales diseñados para examinar las causas de los éxitos y los fracasos de la labranza cero. Este libro resume las ventajas y desventajas de la labranza cero en términos generales pero aprecia que la amplia adopción de la labranza cero ha sido ya hecha por otros. Si bien los autores han estado involucrados en el diseño de nuevos equipos, esta segunda edición no intenta promocionar ningún producto en particular pero remarca los puntos favorables y desfavorables de varias características y opciones.

Los aspectos añadidos o cubiertos en más detalle en esta edición incluyen:

- El carbono del suelo y cómo su retención o secuestro interactúa con la labranza convencional y la labranza cero.
- El control del tráfico en la finca como un agregado a la labranza cero.
- Comparación del comportamiento de los diseños de los abresurcos genéricos para labranza cero.
- La función del fertilizante en bandas en la labranza cero.
- La economía de la labranza cero.
- El equipo usado por los pequeños agricultores.
- El cultivo de forrajes en el sistema de labranza cero.
- Un método para la evaluación del riesgo de maquinarias con distintos niveles de desarrollo.

Fotografía de la cubierta: Lo más avanzado que la labranza cero puede ofrecer para ahorrar tiempo: siembra del nuevo cultivo cuando el cultivo anterior está siendo cosechado reteniendo la máxima cobertura de residuos.

El libro contiene información importante para los agrónomos de campo y para los académicos especializados en agronomía, ciencias del suelo e ingeniería agrícola.



Comentarios a la primera edición:

«...será una contribución importante para muchas bibliotecas...interesadas en técnicas de labranza cero...»

Agricultural Science

«¿Los autores alcanzaron sus objetivos? Creo que lo han hecho en forma admirable»

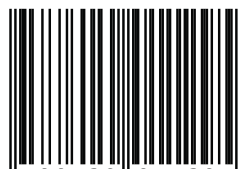
New Zealand Journal of Agricultural Research



Acribia



ISBN 978 - 84 - 200 - 1129 - 5



9 788420 011295