

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)

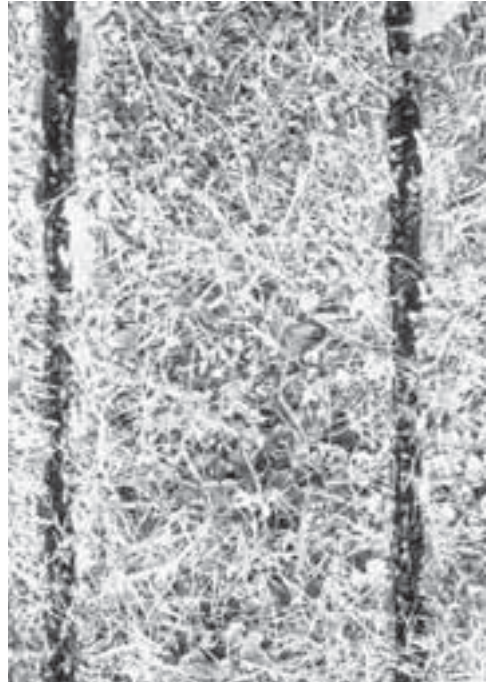


Lámina 30 Semillas visibles en la cobertura de una ranura Clase I en labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).



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-

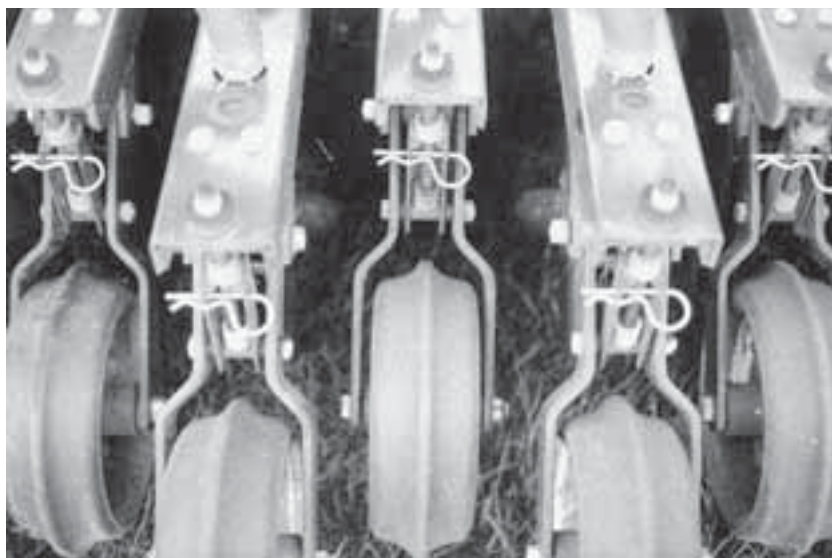


Lámina 35 Una rueda para presión con el centro en forma de V diseñada para presionar en la base de la ranura y al mismo tiempo sobre la superficie del suelo (Baker *et al.*, 1996).

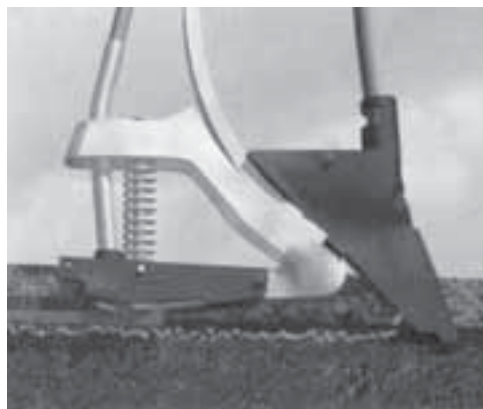


Lámina 36 Un abresurcos de cincel con un aparato para comprimir, para afirmar las semillas en la base de la ranura al mismo tiempo que las cubre.

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).

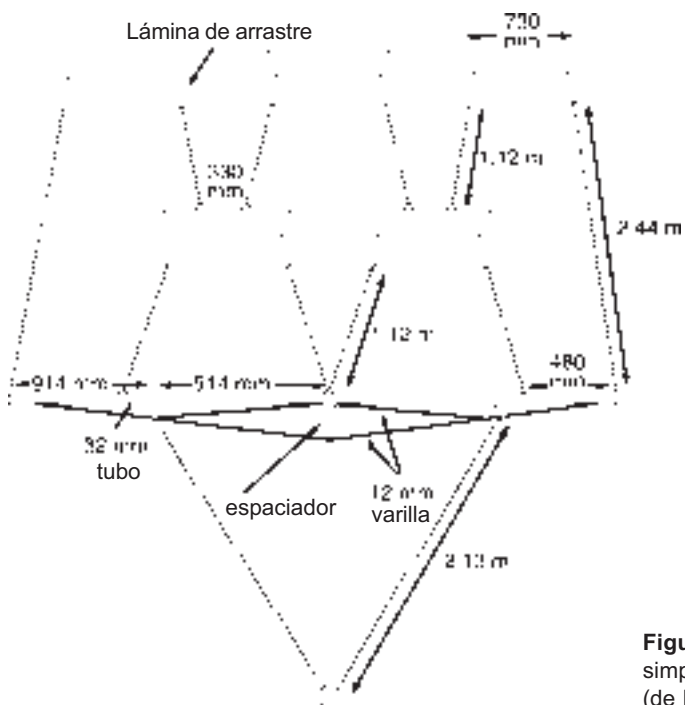


Figura 9 Plano para una rastra simple de barras para coberturas (de Baker, 1970).

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 rastros 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.

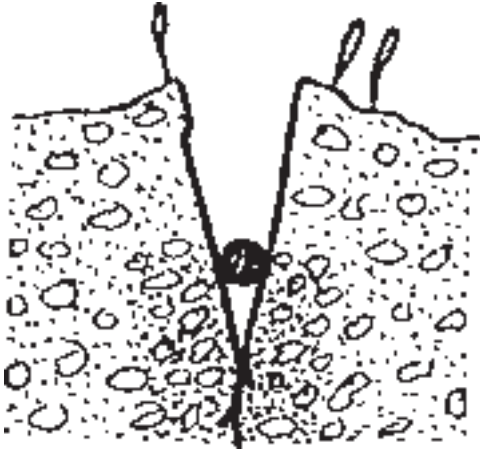


Figura 10 Posición que toma la semilla en una ranura vertical en forma de V en labranza cero.

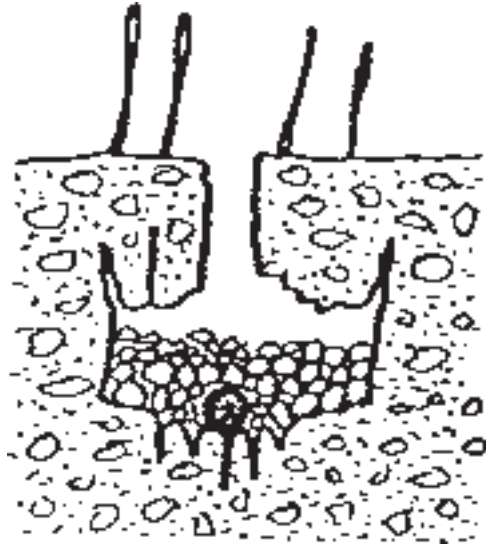


Figura 12 Posición de la semilla en una ranura en forma de T invertida.

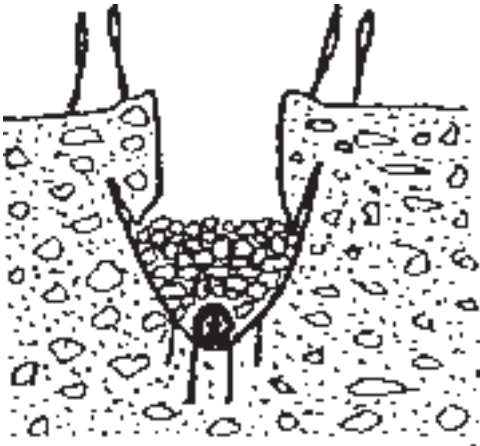


Figura 11 Posición que toma la semilla en una ranura en forma de U en labranza cero.

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 Zelandia 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

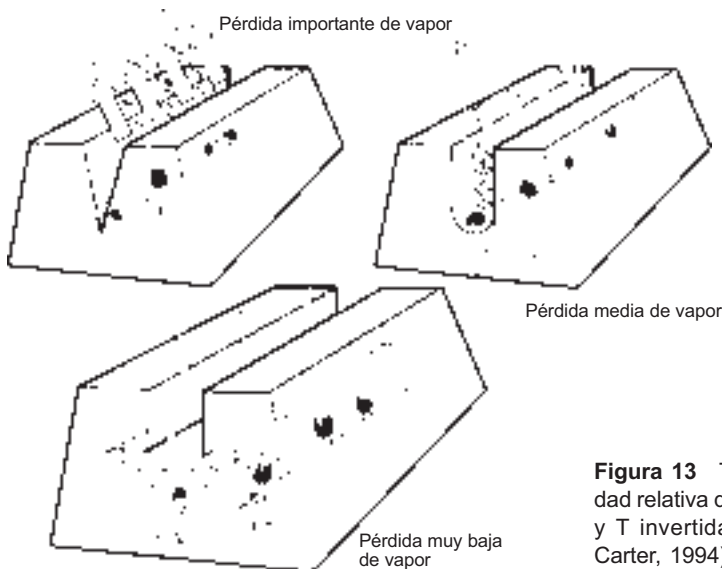


Figura 13 Tasa de pérdida de humedad relativa del suelo en ranuras en V, U y T invertida para labranza cero (de Carter, 1994).

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 Ranura vertical en forma de V Cobertura Clase I (%)	Abresurco de azada Ranura en forma de U Cobertura Clase II (%)	Abresurco de ala 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

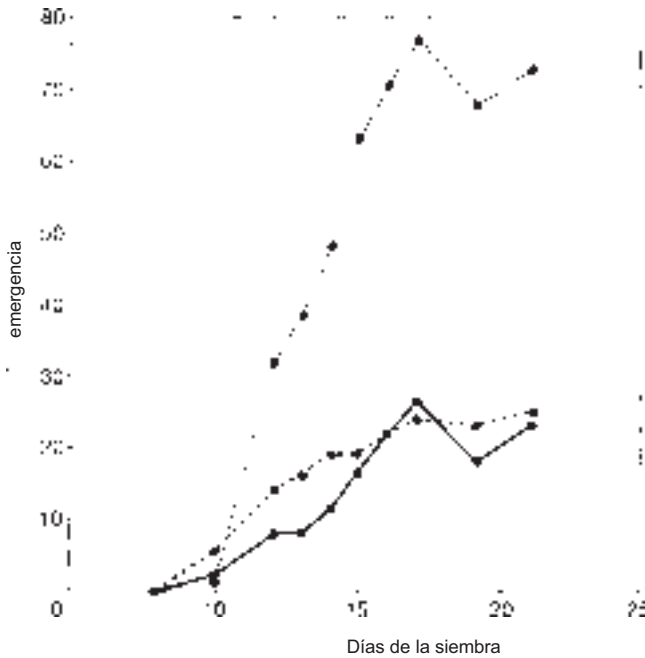


Figura 14 Emergencia de las plántulas de trigo en ranuras en forma de V (—), en forma de U (- - -) y en forma de T invertida (.....) para labranza cero en un suelo seco (Baker, 1976b).

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.

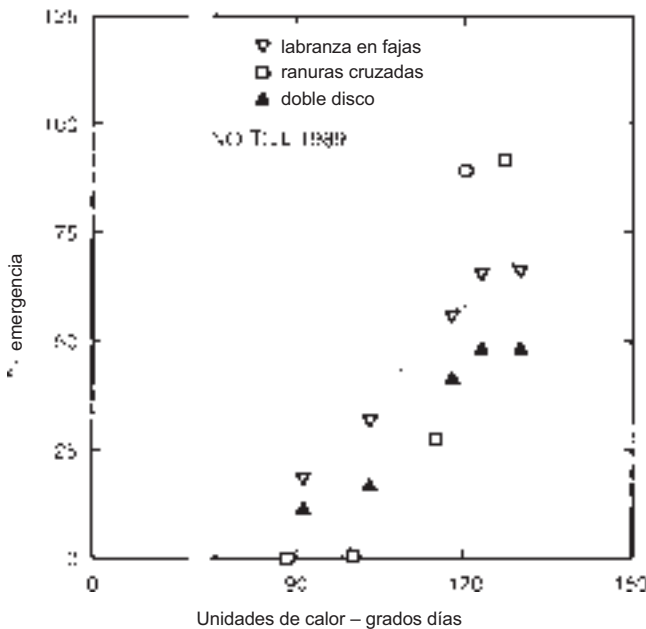


Figura 15 Modelos de emergencia de plántulas de arveja en ranuras en forma de V, en forma de U y en forma de T invertida para labranza cero en un suelo seco (Wilkins *et al.*, 1992).

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-

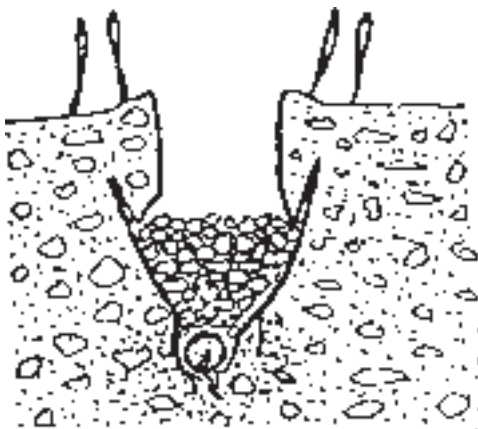


Figura 16 Posición de las semillas después de la presión en la base de una ranura en U para labranza cero.

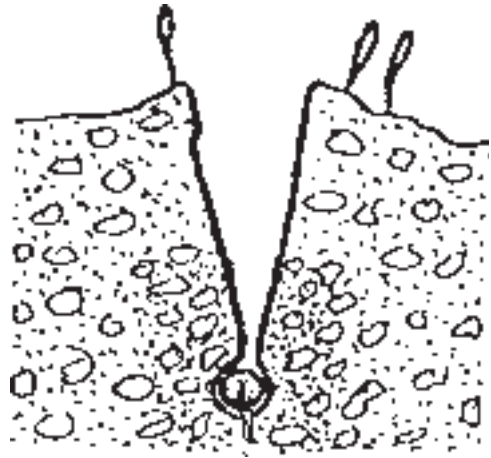


Figura 17 Posición de las semillas después de la presión en la base de una ranura en V para labranza cero.

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 abresurcos 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 abresurcos, que por lo general trabaja algo más profundamente que el segundo, contrarresta la mayoría de los efectos negativos.

Cuando un abresurcos 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.

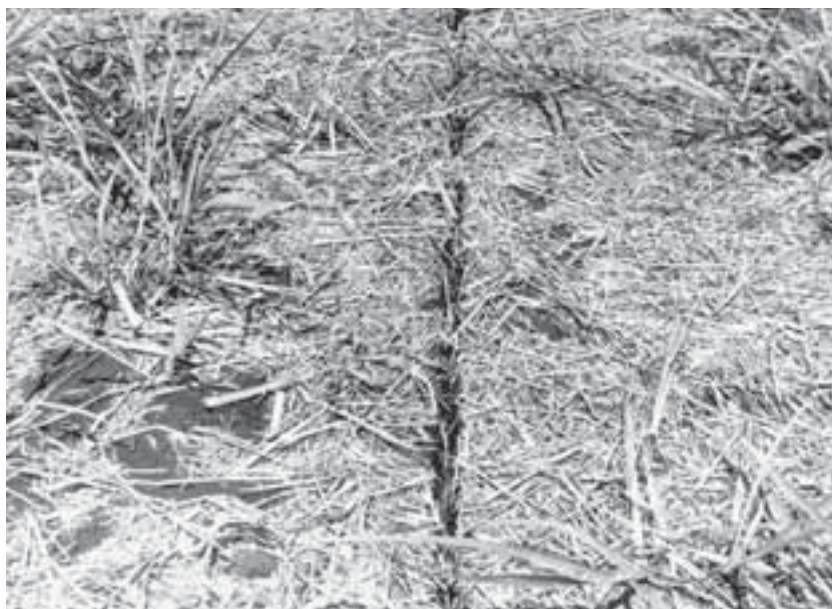


Lámina 42 Cobertura de ranura de Clase IV que permanece intacta después del pasaje de un abresurco de ala equipado con raspadores (ranura en forma de T invertida), en suelo húmedo pegajoso (comparar con la Lámina 5).

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

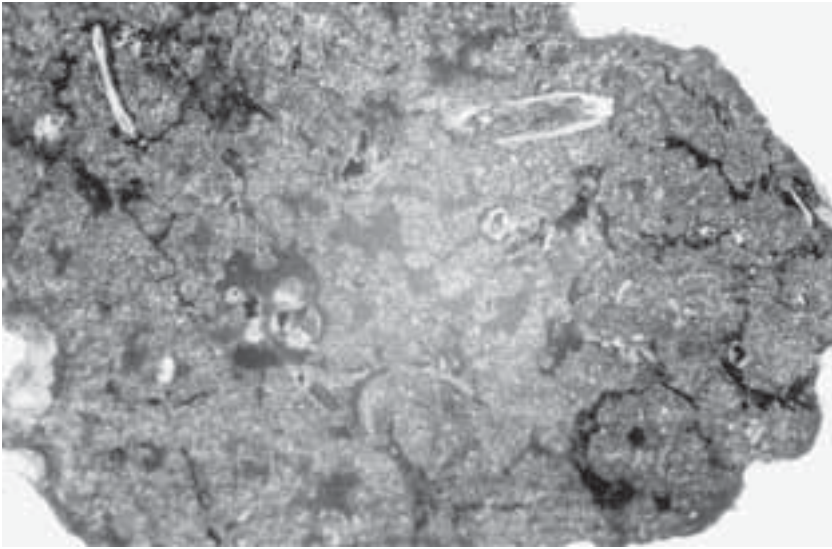


Lámina 43 Fotografía electrónica de una sección de suelo de la pared de una ranura en forma de T invertida (de Baker y Mai, 1982b).

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

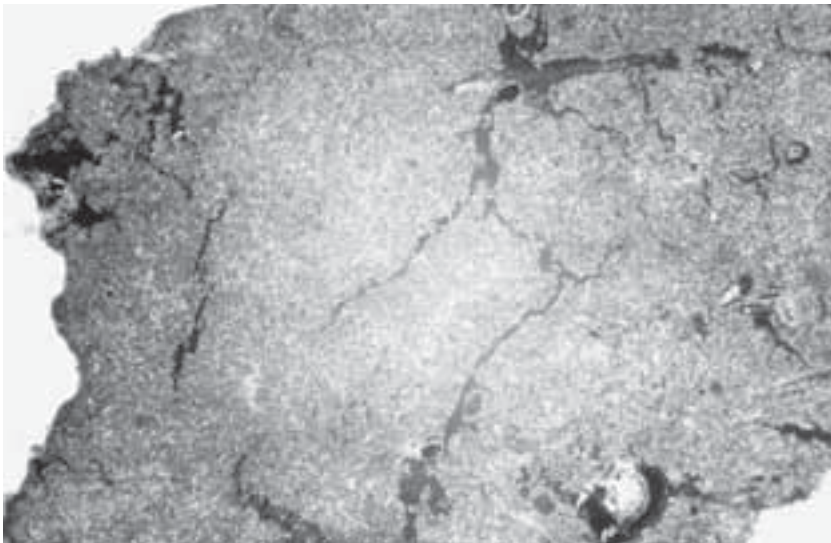


Lámina 44 Fotografía electrónica de una sección de suelo de la pared de una ranura en forma de V (de Baker y Mai, 1982b).

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

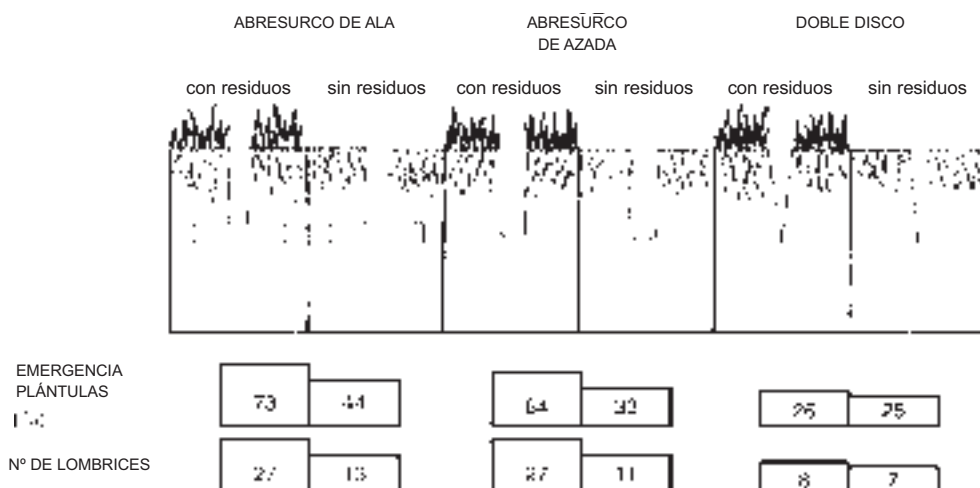


Figura 18 Respuestas de la emergencia de plántulas y número de lombrices a tres formas de ranuras para labranza cero y a residuos superficiales en un suelo húmedo (de Baker *et al.*, 1996).

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,

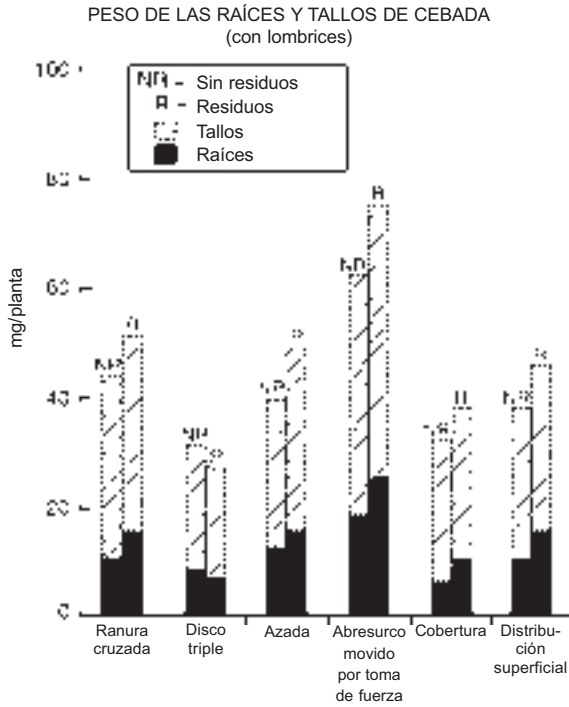


Figura 19 Peso de las raíces y los tallos de plántulas de cebada en labranza cero en respuesta a distintos tipos de abresurcos y residuos y en la presencia de lombrices de tierra (de Baker *et al.*, 1988).

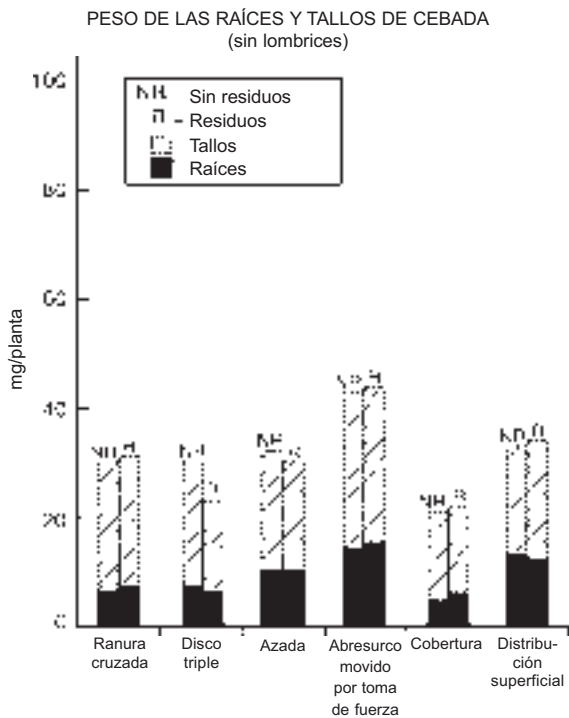


Figura 20 Peso de las raíces y los tallos de plántulas de cebada en labranza cero en respuesta a los tipos de abresurcos y residuos y en la ausencia de lombrices (de Baker *et al.*, 1988).

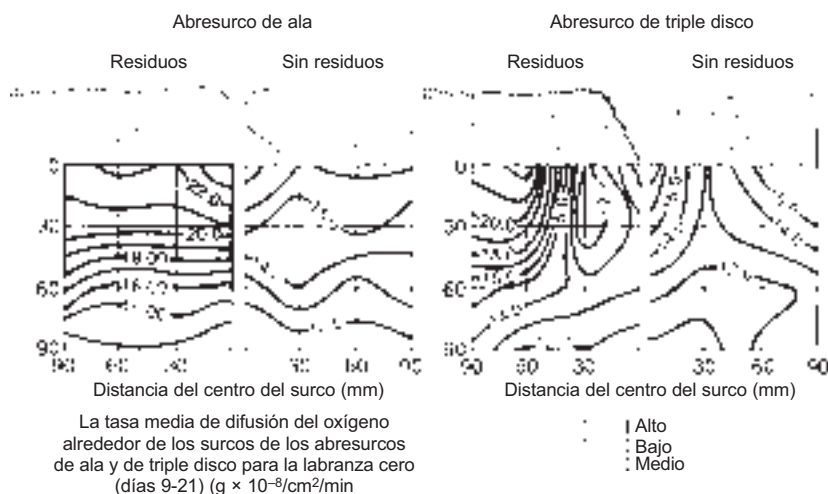


Figura 21 Perfiles de la tasa de difusión de oxígeno alrededor de abresurcos de ala y de doble disco en labranza cero que operan en un suelo húmedo sedimentario-arcilloso, en presencia y ausencia de residuos superficiales (de Baker *et al.*, 1988).

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

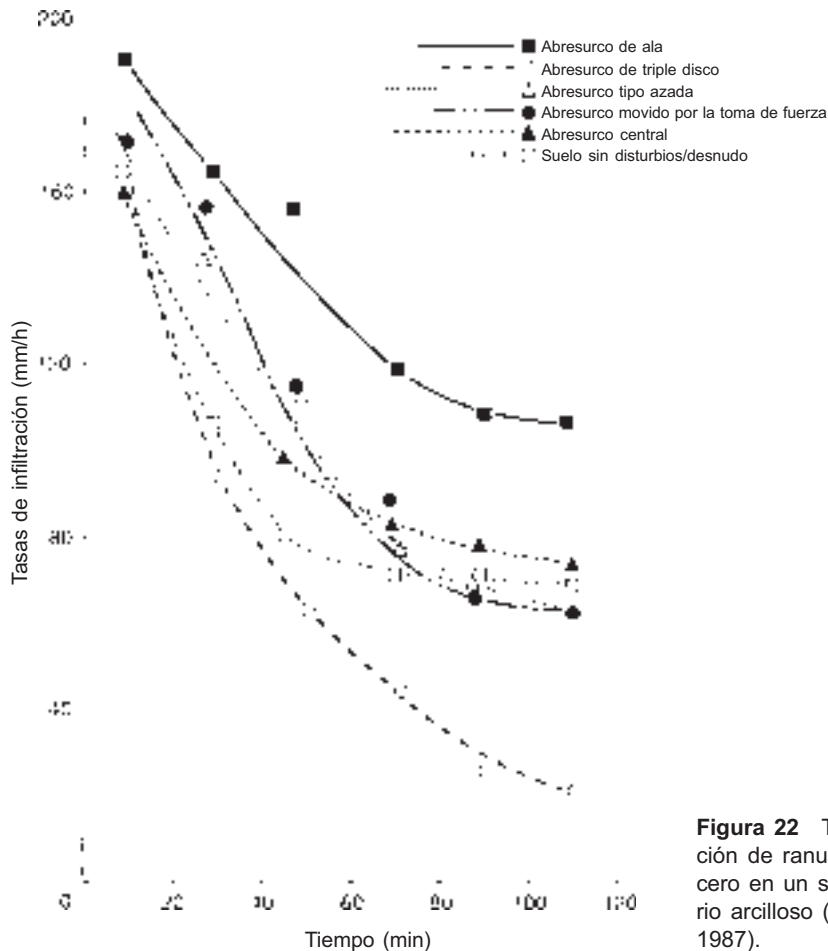


Figura 22 Tasas de infiltración de ranuras en labranza cero en un suelo sedimentario arcilloso (de Baker *et al.*, 1987).

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 espaciamiento 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.

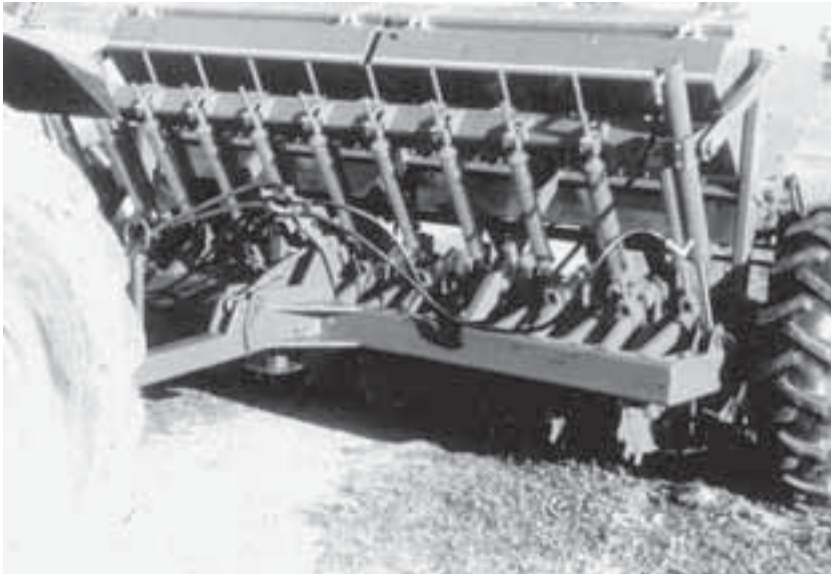


Lámina 48 Resortes de compresión larga en una sembradora para labranza cero.

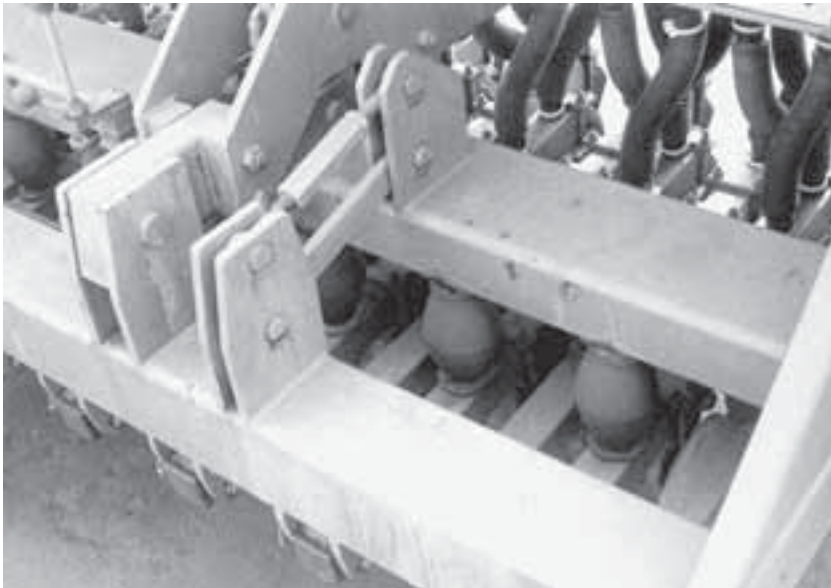


Lámina 49 Abresurcos para labranza cero comprimidos contra el suelo con amortiguadores de goma que actúan cerca del fulcro del brazo.

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 abresurco 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 abresurcos. 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 abresurcos— la presión del aceite es automáticamente ajustada para asegurar que el abresurcos 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 abresurcos 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 abresurcos 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 abresurcos 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).

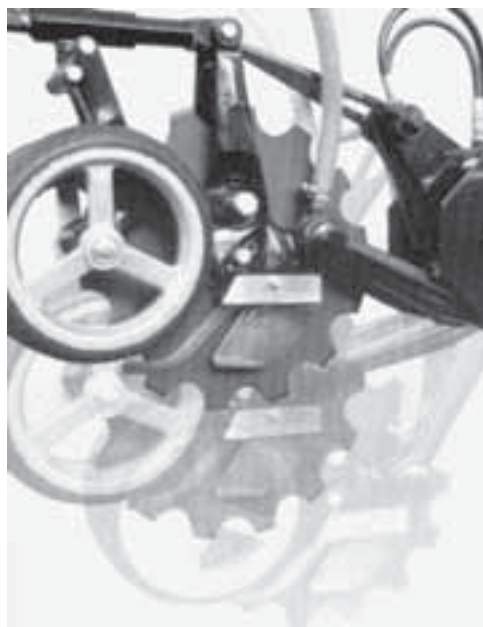


Lámina 53 Abresurcos de ala para labranza cero montado en brazos en forma de paralelogramo y empujado hacia abajo con un sistema gas-aceite, que muestra su excelente rango de movimiento vertical, importante en la labranza cero.

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

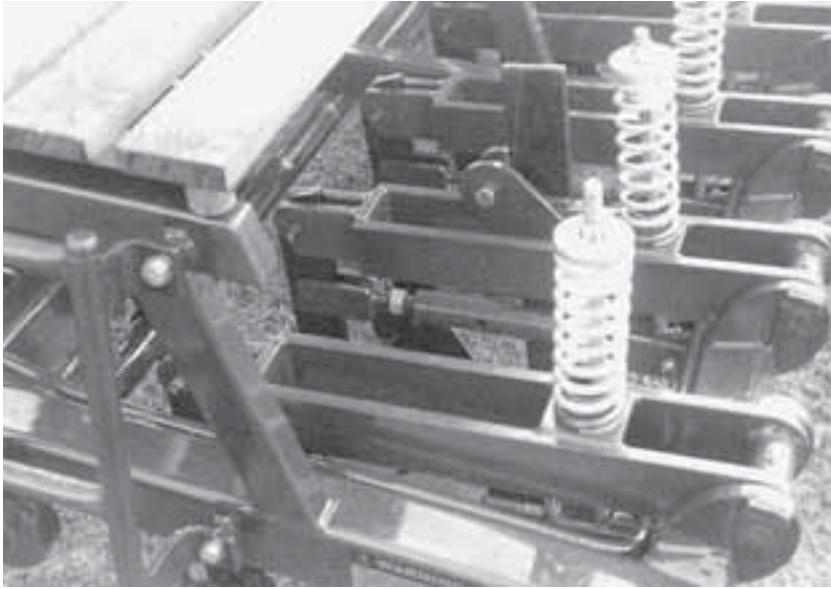


Lámina 54 Abresurcos para labranza cero en el cual se usa una unión «paralela» deliberadamente imperfecta (trapecio).

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-

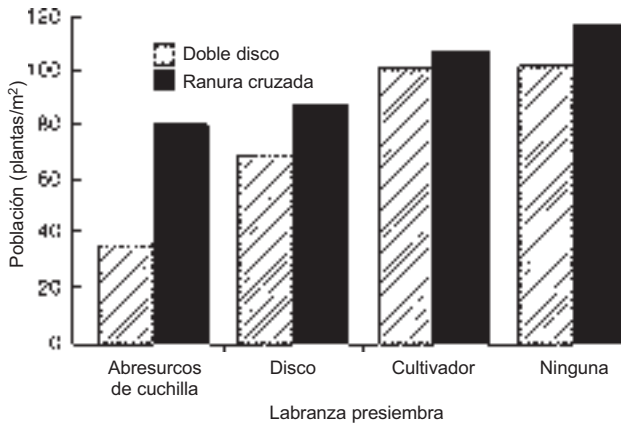


Figura 24 Efectos de la rugosidad superficial sobre la emergencia de las plántulas de trigo, usando dos sembradoras diferentes (Baker y Saxton, 1988).

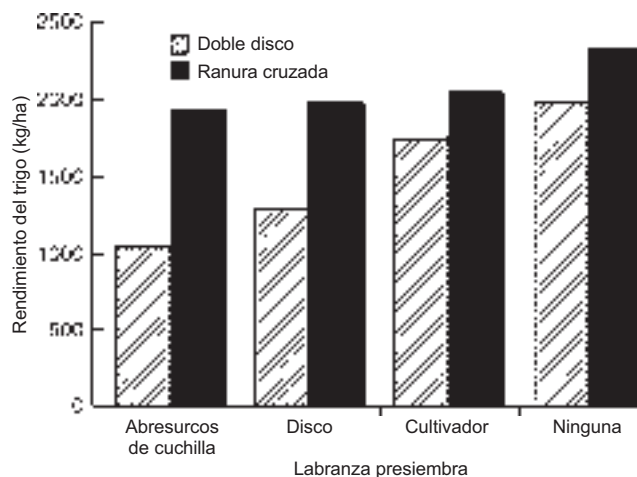


Figura 25 Efectos de la rugosidad superficial sobre los rendimientos de trigo, usando dos sembradoras diferentes (Baker y Saxton, 1988).

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.