

17

Reducción de las emisiones ambientales y secuestro de carbono

Don C. Reicosky y Keith E. Saxton

Mientras que la agricultura de labranza aporta en forma significativa gases de invernadero perjudiciales para la atmósfera, la agricultura bajo labranza cero los minimiza, almacenando nueva materia orgánica y reduciendo la oxidación de la materia orgánica existente en el suelo.

Introducción

La agricultura afecta la condición del ambiente de muchas maneras, que incluyen el impacto sobre el calentamiento global por medio de la producción de «gases de invernadero» tales como el CO₂ (Robertson *et al.*, 2000). En el año 2004, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América estimó que la agricultura contribuía aproximadamente con el 7 por ciento de las emisiones de gases de invernadero en ese país (en equivalentes de carbono, CE), especialmente como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Aunque la agricultura representa una fuente menor pero relevante de emisiones de gases de invernadero, con la aplicación de las nuevas prácticas tiene el potencial de actuar como un sumidero, almacenando y secuestrando el CO₂ de la atmósfera en la forma de carbono del suelo (Lal, 1999). Las estimaciones del potencial de las prácticas de la agricultura de conservación para fortalecer el almacenamiento de carbono del suelo varía

entre 154 y 369 millones de toneladas métricas (MMTCE), comparadas con las 345 MMTCE de reducción propuestas por los Estados Unidos de América bajo el Protocolo de Kyoto (Lal *et al.*, 1998). Por lo tanto, los sistemas agrícolas pueden ser manejados para la doble acción de reducir las emisiones de gases de invernadero y de fortalecer el secuestro de carbono. La influencia de los sistemas de producción agrícola sobre la generación y emisión de gases de invernadero es de gran interés porque puede afectar el potencial del cambio climático global. Los ecosistemas agrícolas pueden cumplir una función importante en la producción y consumo de los gases de invernadero, específicamente del CO₂.

La labranza cero, o de conservación, reduce la extensión y frecuencia del disturbio mecánico causado por los arados de vertederas, los macroporos llenos de aire y la tasa de oxidación del carbono. Cualquier esfuerzo que se haga para disminuir la intensidad de la labranza y maximizar el retorno de los residuos debería dar lugar al secuestro de carbono y mejorar la calidad ambiental.

Emisiones de bióxido de carbono inducidas por la labranza

La labranza o preparación del suelo ha sido una parte integral de la producción agrícola.

La labranza también es el principal agente responsable de la perturbación del suelo, la subsiguiente modificación de su estructura y la consecuente degradación. La labranza intensiva puede afectar adversamente la estructura del suelo y causar una excesiva descomposición de los agregados, lo que conduce al movimiento potencial del suelo por vía de la erosión. La labranza intensiva causa la degradación del suelo por medio de la pérdida de carbono y de las emisiones de gases de invernadero inducidas por la labranza, especialmente de CO_2 , que tienen impacto sobre la capacidad productiva y la calidad del ambiente.

La labranza intensiva reduce el carbono del suelo. Las grandes pérdidas gaseosas del carbono del suelo causadas por el arado de vertederas, comparadas con las relativamente pequeñas pérdidas causadas por la labranza cero, han demostrado que los sistemas de producción agrícola que usan el arado de vertedera han dado lugar a la disminución de la materia orgánica del suelo; a su vez, los sistemas de labranza cero, o de siembra directa de producción agrícola, están deteniendo o revertiendo esa tendencia (Reicosky y Lindstrom, 1993). La tendencia a la disminución del carbono del suelo con menos labranza será favorable para la agricultura, así como también para la población mundial, al haber un mejor control global del equilibrio del carbono (Reicosky, 1998).

Medida de las emisiones

Los estudios sobre labranza que se citan en este capítulo fueron llevados a cabo en el centro oeste de Minnesota, Estados Unidos de América, en suelos ricos con alto contenido de carbono orgánico (Reicosky y Lindstrom, 1993, 1995; Reicosky, 1997, 1998). En estos estudios, el flujo de CO_2 de la superficie de los suelos labrados fue medido usando una cámara grande, portátil, descrita por Reicosky (1990) y por Reicosky *et al.* (1990), igual a la descrita por Reicosky y Lindstrom (1993). Las

mediciones del flujo de CO_2 se iniciaron generalmente dentro de un minuto después de la labranza y continuaron varias veces. El flujo de CO_2 de la superficie del suelo fue medido usando la cámara portátil grande descrita por Reicosky y Lindstrom (1993).

La cámara con ventiladores en acción fue colocada sobre la superficie labrada o sobre la superficie no labrada y recolectó datos a intervalos de un segundo durante 60 segundos para determinar la tasa de incremento de CO_2 y de vapor de agua dentro de la cámara. La cámara fue entonces levantada, se completaron los cálculos y los resultados se almacenaron en un disco flexible del ordenador.

Los datos incluyeron el tiempo, la identificación de la parcela, la radiación solar, la temperatura del aire, la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura en bulbo húmedo, el resultado del analizador de gas infrarrojo medidor del CO_2 y las concentraciones de vapor de agua en la misma corriente de aire. Después de un cierto plazo se seleccionaron datos de una duración de 30 segundos a fin de convertir las concentraciones volumétricas de vapor de agua y CO_2 a una base de masa y entonces hacer una regresión como función del tiempo usando ecuaciones lineares y cuadráticas para estimar el flujo de los gases. Estos flujos representan la tasa de incremento de CO_2 y de vapor de agua dentro de una cámara en una unidad de un área horizontal diferenciada en una superficie de suelo y en función de la rugosidad del mismo. En los resultados se describen solamente diferencias en los tratamientos respecto a los métodos de labranza, tipo de labranza u objetivos experimentales.

Efectos de la labranza y de los residuos

Estudios recientes que involucran la cámara dinámica descrita anteriormente, varios métodos de labranza y la incorporación de residuos en el campo indicaron importantes

pérdidas de carbono inmediatamente después de la labranza intensiva (Reicosky y Lindstrom, 1993, 1995). El arado de vertedera produjo la superficie más rugosa, el mayor flujo inicial de CO_2 y mantuvo el flujo más alto a lo largo del estudio de 19 días de duración. Los altos flujos iniciales de CO_2 estuvieron más estrechamente relacionados con la profundidad del disturbio del suelo, que dio lugar a una superficie más rugosa y huecos más grandes que la incorporación de los residuos. La labranza asociada con un bajo disturbio del suelo causó menores flujos de CO_2 y huecos de menor tamaño, mientras que la labranza cero tuvo la menor pérdida de CO_2 durante los 19 días.

Las mayores pérdidas gaseosas de carbono del suelo después de arar con arado de vertedera se compararon con pérdidas relativamente pequeñas de la labranza cero o de la siembra directa y muestran por qué los sistemas que usan el arado de vertedera han reducido la materia orgánica del suelo y por qué los sistemas de producción de labranza cero o de siembra directa están deteniendo o invirtiendo esa tendencia. Las pérdidas acumulativas de CO_2 estuvieron relacionadas con el volumen de suelo disturbado por las herramientas de labranza. Los menores flujos de CO_2 fueron causados por la labranza asociada con un bajo disturbio del suelo y con pequeños huecos y con la labranza cero que tuvo la menor pérdida de CO_2 durante los 19 días. Del mismo modo, Ellert y Janzen (1999) usaron un solo pase relativamente poco profundo de un cultivador pesado y una pequeña cámara dinámica para mostrar que los flujos de 0,6 horas después de la labranza eran de dos a cuatro veces mayores que los valores antes de la labranza y que disminuyeron rápidamente dentro de las 24 horas después del trabajo del cultivador. Concluyeron que las influencias a corto plazo sobre la labranza y la pérdida de carbono del suelo fueron modestas en condiciones semiáridas, similares a los resultados encontrados por Franzluebbers *et al.* (1995a, b).

Por otro lado, Reicosky y Lindstrom (1993) concluyeron que los métodos intensivos de labranza, especialmente el arado de vertedera trabajando a 25 cm de profundidad, afectaron el flujo inicial del suelo en forma diferente y sugirieron que las técnicas mejoradas de manejo del suelo pueden minimizar el impacto agrícola sobre el incremento global de CO_2 . Reicosky (2001b) demostró posteriormente los efectos de los métodos secundarios de labranza y la compactación postlabranza en la disminución del flujo inducido por la labranza. Aparentemente, una compactación severa del suelo disminuyó la porosidad y limitó el flujo de CO_2 después de la labranza con arado al nivel del tratamiento sin labranza.

Este concepto fue investigado posteriormente cuando Reicosky (1998) determinó el impacto de los métodos de labranza en fajas sobre la pérdida de CO_2 , para lo cual usó cinco herramientas diferentes para labranza en fajas en la producción de cultivos en surcos y en labranza cero. Los mayores flujos de CO_2 se encontraron en el uso del arado de vertedera y del subsolador de cincel. En ambos casos los flujos disminuyeron lentamente a medida que el suelo se secaba. El menor flujo de CO_2 se midió en el tratamiento sin labranza. Las otras formas de labranza en fajas estuvieron en una posición intermedia con solo una pequeña cantidad de CO_2 detectada inmediatamente después de la operación de labranza. Estos resultados sugirieron que los flujos de CO_2 estuvieron relacionados lineal y directamente con el volumen de suelo disturbado. La labranza intensiva rompió una mayor profundidad y volumen de suelo e incrementó el área total disponible para intercambio de gas, lo cual contribuyó al flujo vertical del gas. Un disturbio más angosto y menos profundo del suelo causó menos pérdida de CO_2 lo que sugiere que el volumen de suelo disturbado debería ser minimizado para reducir la pérdida de carbono y el impacto sobre el suelo y la calidad del aire. Los resultados también sugirieron que los beneficios ambientales del

almacenamiento de carbono en la labranza en fajas comparados con la labranza de toda la superficie deberían ser considerados en las decisiones de manejo de suelos.

Reicosky (1997) informó que la pérdida media de CO_2 a corto plazo, cinco horas después del uso de cuatro herramientas para labranza cero era solamente el 31 por ciento de la del arado de vertedera. Este arado perdió 13,8 veces más CO_2 en el aire que las áreas sin labranza, mientras que otras herramientas diferentes para labranza cero perdieron en promedio solamente 4,3 veces. Los beneficios de los residuos sobre la superficie del suelo para minimizar la erosión y menores pérdidas de CO_2 después del paso de las herramientas para labranza cero son importantes; sugieren el desarrollo de herramientas para la labranza de conservación que puedan fortalecer el manejo del carbono del suelo. La labranza de conservación reduce la extensión, frecuencia y magnitud de los disturbios mecánicos causados por el arado de vertedera y disminuye los poros grandes llenos de aire para reducir la tasa de intercambio de gas y de oxidación del carbono.

Reicosky *et al.* (2002) demostraron que la remoción de los restos del maíz para ser usado como ensilaje durante 30 años continuos de cultivo de maíz, comparado con el retorno de los residuos y la retirada solamente del grano, no resultó en ninguna diferencia en el contenido de carbono del suelo, después de 30 años de labranza con arado de vertedera. El nivel de fertilidad no tuvo efectos notorios sobre las pérdidas de CO_2 . Los datos del flujo de CO_2 inducido por la labranza representaron el intercambio acumulativo de gas durante 24 horas para todos los tratamientos.

El flujo de CO_2 antes de la labranza de la misma área no labrada promedió $0,29 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ para las parcelas de alta fertilidad al inicio de las mediciones. Esto contrasta con el mayor flujo acumulativo después de la labranza de $45 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ en una parcela de baja fertilidad cultivada con cereales. El flujo de CO_2

mostró un flujo inicial relativamente grande inmediatamente después de la labranza y descendió rápidamente, cuatro o cinco horas después de la labranza. La disminución del flujo de CO_2 continuó a medida que el suelo perdía CO_2 y se secó en 24 horas, cuando los valores fueron más bajos, pero aún substancialmente más altos que aquellos de los tratamientos de labranza cero. El flujo después de 24 horas de la labranza en las mismas parcelas anteriores fue de aproximadamente $3 \text{ g de CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, considerablemente más alto que el valor antes de la labranza.

La tendencia temporal fue similar para todos los tratamientos, lo que sugiere que la liberación física controló el flujo más que los tratamientos experimentales impuestos. La consistencia de la relación C:N en los cuatro tratamientos sugiere un efecto menor de la remoción o adición de residuos y que el arado de vertedera enmascaró los efectos de la remoción de los residuos para ser usados en el ensilaje, de la remoción del grano o de los restos encima de la tierra. La labranza intensiva con el arado de vertedera dominó sobre cualquier aspecto de manejo de los residuos y resultó esencialmente en el mismo contenido bajo de carbono al final de los 30 años. Los resultados sugieren que la labranza intensiva con el arado de vertedera puede encubrir cualquier efecto beneficioso del manejo de los residuos (incorporados o removidos) que podrían ser considerados en un sistema de cultivo.

Labranza en fajas y efectos de la labranza cero sobre la pérdida de CO_2

El impacto de la labranza en grandes áreas sobre el carbono del suelo y la pérdida de CO_2 sugiere posibles mejoramientos con cobertura entre los surcos y menos labranza intensiva en fajas para preparar una cama de semillas angosta, así como también de labranza cero. Reicosky (1998) cuantificó la pérdida de CO_2

a corto plazo inducida por la labranza después del uso de herramientas para labranza en fajas y para labranza cero. Fueron usadas varias herramientas para labranza en fajas espaciadas a 76 cm y se midió el intercambio de gas con una cámara grande portátil. El intercambio de gas se midió regularmente cada seis horas y después a las 24 y a las 48 horas. Durante el estudio la labranza cero tuvo el flujo de CO_2 más bajo y el arado de vertedera produjo el resultado inmediatamente más alto después de la labranza, el cual disminuyó a medida que el suelo se secaba. Otras formas de labranza en fajas tuvieron un flujo inicial relacionado con la intensidad de la labranza, el que fue intermedio entre esos extremos, con las pérdidas acumulativas de cinco y 24 horas relacionadas con el volumen de suelo disturbado por la herramienta de labranza.

La reducción del volumen de suelo disturbado por la labranza debería fortalecer la calidad del suelo y del aire al incrementar el contenido de carbono del suelo. La labranza limitada también puede ser beneficiosa y contribuir a mejorar la calidad del aire y del suelo, minimizar la escorrentía, mejorar la calidad del agua y minimizar el efecto de invernadero. La economía de energía representa un beneficio económico adicional asociado con el menor disturbio del suelo. Los resultados sugieren que los beneficios ambientales de la labranza en fajas deben ser considerados cuando se toman decisiones para el manejo de suelos.

El flujo de CO_2 como función del tiempo para cada método de labranza en las primeras cinco horas demostró que el arado de vertedera tenía el mayor flujo, que llegó a $35 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ y rápidamente bajó a $6 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$, cinco horas después de la labranza. El segundo mayor flujo de CO_2 fue de $16 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ seguido por el subsolado con cinceles, el cual también declinó rápidamente. El menor flujo fue medido en el tratamiento de labranza cero con un promedio de $0,2 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ para el período de cinco horas. Otras formas de labranza en fajas ocuparon lugares intermedios y solo se detec-

tó una pequeña cantidad de CO_2 inmediatamente después de algunas operaciones de labranza, que variaron entre 3 y $8 \text{ g CO}_2/\text{m}^2/\text{h}$ y que gradualmente bajaron hasta acercarse a los valores de labranza cero dentro de las cinco horas. Estos resultados sugieren una relación directa entre la magnitud del flujo de CO_2 que parece estar relacionada con el volumen de suelo disturbado.

Las pérdidas acumulativas de CO_2 calculadas integrando el flujo como función del tiempo para ambos períodos de 5 y 24 horas mostraron tendencias similares. Los valores para 24 horas pueden estar sujetos a error debido al largo tiempo que transcurre entre las dos últimas mediciones y el secado inducido por la labranza, que podría haber sido la razón para que los tratamientos con labranza se secan más rápidamente que los tratamientos en labranza cero. El flujo acumulativo de las primeras cinco horas después de la labranza para el arado de vertedera fue de $59,8 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$, decreciendo a $31,7 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para el suelo con subsolador y a un bajo $1,4 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para el tratamiento de labranza cero. Del mismo modo, los datos acumulativos para el período de 24 horas reflejan la misma tendencia con la máxima liberación de $159,7 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ por el arado de vertedera, que decrece a $7,2 \text{ g CO}_2/\text{m}^2$ para la labranza cero. Las otras formas de labranza en fajas ocuparon lugares intermedios entre esas y en forma paralela a los datos de cinco horas. Los resultados sugieren que la pérdida acumulativa de CO_2 estuvo directamente relacionada con el volumen de suelo disturbado por la herramienta de labranza. Cuanto más angosto y superficial fue el disturbio del suelo, menores pérdidas de CO_2 causó.

Las áreas de corte del suelo disturbado por la labranza fueron estimadas por mediciones de campo llevadas a escala usando técnicas gráficas. Las gráficas fueron medidas por un medidor de área. Los flujos acumulativos de CO_2 para el tratamiento de 24 horas fueron incluidos en una gráfica como función de esas

áreas de suelo disturbado y mostraron una relación casi lineal entre el flujo acumulativo de 24 horas de CO₂ y el volumen de suelo disturbado por la labranza. Estos resultados sugieren que la labranza intensiva fracturó una mayor profundidad y volumen de suelo e incrementó el área superficial de los agregados disponible para el intercambio gaseoso. Esto aumentó la porosidad del suelo y el área de intercambio de gas lo que contribuyó al flujo vertical; el mayor flujo ocurrió después del arado de vertedera.

Los resultados de las pérdidas de CO₂ a corto plazo en el estudio de labranza en fajas para los cultivos en surcos sugieren que, para minimizar el impacto de la labranza sobre la calidad del aire y del suelo, debe ser minimizado el volumen de suelo disturbado. Debería preferirse la estrategia de la labranza del volumen de suelo necesario para obtener una buena cama de semillas y dejar el resto del suelo protegido e indisturbado para conservar agua y carbono y minimizar la erosión del suelo y la pérdida del CO₂. La labranza limitada también puede ser beneficiosa y contribuir sustancialmente a mejorar la calidad del suelo y del aire, minimizar la escorrentía para fortalecer la calidad del agua y minimizar el efecto invernadero. El ahorro de energía representa un beneficio económico adicional asociado con un menor disturbio del suelo (West y Marland, 2002; Lal, 2004). Los resultados sugieren que deben ser considerados los beneficios ambientales de la labranza en fajas en un área amplia de labranza cuando se toman decisiones sobre manejo de suelos y de residuos.

El concepto de que cada suelo tiene una capacidad finita de almacenamiento de carbono está siendo puesto en discusión. Esto tiene serias implicancias para la productividad del suelo y el potencial del suelo para mejorar el almacenamiento de carbono y reducir los gases de invernadero en la atmósfera. La mayoría de los suelos agrícolas y de los suelos degradados pueden ser importantes sumide-

ros potenciales para el CO₂ atmosférico. Sin embargo, la acumulación del carbono en el suelo no continúa incrementándose con el tiempo y con la adición de más carbono sino que alcanza un límite máximo de saturación que gobierna el límite total del sumidero de carbono (Goh, 2004). La relación entre labranza cero y labranza conservacionista y la forma en que afectan las cantidades de carbono en el suelo está abierta al debate y a la definición de los depósitos de carbono.

La relación entre los cambios inducidos por la labranza en la estructura del suelo y el subsecuente efecto sobre la pérdida de carbono fue revisada por Six *et al.* (2002) dentro del marco de un nuevo concepto de saturación del suelo con carbono. Los autores diferenciaron la materia orgánica del suelo que está protegida de la descomposición por varios mecanismos y discutieron las implicancias de los cambios en el manejo de la tierra para los procesos que afectaron la liberación del carbono. Este nuevo modelo definió la capacidad de saturación del suelo con carbono o el potencial máximo de almacenamiento potencial de carbono determinado por las propiedades físicoquímicas del suelo. Fue diferenciado entre modelos que sugirieron que las existencias de carbono del suelo se incrementan linealmente con nuevos insumos de carbono. Se presume que la capacidad de saturación de carbono será dependiente del clima y del manejo. Esto causa un cambio en los conceptos acerca del secuestro de carbono y que el límite natural de la dependencia del suelo puede existir tanto en los sistemas naturales como en los sistemas manejados por el hombre.

En este análisis es fundamental la función de la glomalina, una sustancia pegajosa producida por hifas de hongos que ayuda a aglutinar los agregados del suelo (Nicholas y Wright, 2004). La labranza cero es una práctica de manejo que ha sido exitosa para incrementar las hifas de los hongos que producen glomalina. El próximo desafío de la investigación será determinar si la saturación del

carbono y la glomalina en todo el proceso de los sistemas de labranza cero y de labranza conservacionista son realmente diferentes. Presumiblemente, con una menor descomposición de los agregados del suelo inducida por la labranza, la labranza cero puede tener ventajas sobre otras formas de labranza conservacionista. Sin embargo, la respuesta final requiere la realización de más investigaciones.

Secuestro de carbono por medio de la labranza cero

La agricultura de conservación está recibiendo atención global como alternativa al uso de los sistemas de labranza convencional y como un medio de secuestro de carbono orgánico del suelo (Follett, 2001; García-Torres *et al.*, 2001). La agricultura de conservación puede trabajar bajo diversas situaciones y es rentable desde el punto de vista del trabajo. Más importante aún, las prácticas que secuestran carbono orgánico del suelo contribuyen a la calidad ambiental y al desarrollo de un sistema agrícola sostenible. La labranza u otras prácticas que destruyen la materia orgánica del suelo o que causan su pérdida resultan en una disminución neta del carbono orgánico del suelo y no conducen a una agricultura sostenible. Los sistemas sostenibles de cultivo comprenden todas aquellas prácticas culturales que aumentan la productividad y que al mismo tiempo favorecen el secuestro de carbono. El manejo de los residuos de los cultivos, la labranza de conservación (especialmente la labranza cero), el manejo eficiente de los nutrientes, la agricultura de precisión, el manejo eficiente del agua y la recuperación de los suelos degradados son elementos que contribuyen a la agricultura sostenible.

Kern y Johnson (1993) calcularon que la conversión del 76 por ciento de las tierras cultivadas en los Estados Unidos de América bajo labranza de conservación podría secuestrar entre 286 y 468 MMTCE en 30 años y con-

cluyeron que la agricultura podría convertirse en un sumidero neto de carbono. Lal (1997) estimó un secuestro global de carbono por medio de la conversión de la agricultura convencional a la agricultura de conservación en cerca de 4 900 MMTCE en el año 2020. La comprobación de la economía de la reducción de costos del combustible y los beneficios ambientales derivados de la conversión a la agricultura de conservación constituyen las primeras etapas para que la agricultura disminuya las emisiones de carbono hacia la atmósfera.

Las prácticas de labranza del suelo son de importancia fundamental para el estado del carbono en el suelo porque afectan directa e indirectamente la dinámica del carbono. Las prácticas de labranza que invierten o disturbian considerablemente la superficie del suelo reducen su contenido de carbono orgánico al incrementar la descomposición y mineralización de la biomasa debido a una mayor aireación y mezcla de los residuos de las plantas; esto expone la materia orgánica del suelo, que anteriormente estaba protegida en agregados de suelo para alimentar la fauna del suelo, e incrementa las pérdidas debido a la erosión (Lal, 1984, 1989; Dick *et al.*, 1986a, b; Blevens y Frye, 1993; Tisdall, 1996). Del mismo modo, los sistemas de labranza cero a largo plazo o de labranza reducida aumentan el contenido de materia orgánica del suelo de la capa superficial como resultado de la interacción de varios factores tales como el mayor retorno de residuos, menos mezcla y disturbio del suelo, mayor contenido de humedad del suelo, menor temperatura de la superficie del suelo, proliferación del crecimiento de las raíces y de la actividad biológica y menores riesgos de erosión del suelo (Lal, 1989; Havlin *et al.*, 1990; Logan *et al.*, 1991; Blevens y Frye, 1993; Lal *et al.*, 1994a, b).

Cambardella y Elliott (1992) observaron que el contenido de carbono orgánico en un suelo franco, en la capa de 0 a 20 cm de profundidad, era de 3,1, 3,5, 3,7 y 4,2 kg/m² para suelo desnudo, suelo cubierto con residuos, labranza

cero y pastura natural, respectivamente. También observaron que las prácticas de labranza pueden producir pérdidas del 40 por ciento o más del total de la materia orgánica del suelo durante un período de 60 años. Edwards *et al.* (1992) observaron que la conversión de la labranza con arado de vertedera a labranza cero incrementó el contenido de carbono orgánico del suelo en la capa superficial de 0 a 10 cm, de 10 g/kg a 15,5 g/kg en 10 años, o sea un incremento del 56 por ciento. Lal *et al.* (1998) indicaron que:

Un resumen de la literatura disponible indica que el potencial de secuestro de carbono orgánico del suelo por la conversión a la agricultura de conservación varía de 0,1 a 0,5 toneladas/ha/año para las regiones templadas húmedas y de 0,05 a 0,2 toneladas/ha/año para las regiones semiáridas y tropicales.

Los mismos autores estimaron además que el incremento del carbono orgánico del suelo puede continuar por un período de 25 a 50 años, dependiendo de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y del manejo.

El secuestro de carbono en el suelo presenta otros beneficios además de la remoción del CO₂ de la atmósfera. La agricultura con labranza cero reduce el consumo de combustibles, disminuye la erosión y fortalece la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua. Los efectos benéficos de la labranza de conservación sobre el carbono orgánico del suelo pueden ser de poco valor si el suelo es labrado, incluso después de un largo período de labranza de conservación (Gilley y Doran, 1997; Stockfisch *et al.*, 1999). Stockfisch *et al.* (1999) concluyeron que la estratificación y acumulación de materia orgánica como resultado de labranza mínima a largo plazo se perdía completamente por una simple inversión de labranza en el curso de un invierno relativamente suave. La labranza acentúa la oxidación del carbono al incrementar la aireación

del suelo y el contacto de los residuos con el suelo y acelera la erosión al exponerlo al viento y a la lluvia (Grant, 1997). Varios experimentos en América del Norte han demostrado que los suelos bajo labranza de conservación tienen un mayor contenido de carbono orgánico en comparación con las camas de semillas preparadas con labranza (Doran, 1980; Doran *et al.*, 1987; Rasmussen y Rohde, 1988; Havlin *et al.*, 1990; Tracy *et al.*, 1990; Kern y Johnson, 1993; Lafond *et al.*, 1994; Reicosky *et al.*, 1995).

Al igual que las ventajas que presenta la labranza cero en América del Norte, Argentina y Brasil (Lal, 2000; Sa *et al.*, 2001), varios estudios han informado acerca del gran potencial existente para el secuestro del carbono orgánico en los suelos europeos. En un análisis de 17 experimentos de labranza en Europa, Smith *et al.* (1998) encontraron que el promedio de aumento de carbono orgánico del suelo de labranza convencional a labranza cero fue del $0,73 \pm 0,39$ por ciento anual y que el carbono orgánico del suelo podría alcanzar un nuevo equilibrio en aproximadamente de 50 a 100 años. El análisis de algunos experimentos a largo plazo en Canadá (Dumanski *et al.*, 1998) indicó que el carbono orgánico del suelo puede ser secuestrado durante 25 a 30 años a una tasa de 50 a 75 g de carbono/m²/año, dependiendo del tipo de suelo, en suelos chernozem y luvisoles bien fertilizados y cultivados continuamente con cereales y heno. El análisis de estos experimentos en Canadá se enfocó en la rotación de cultivos, opuestos a la labranza, y es el único que considera las tasas de secuestro en relación al tipo de suelo.

Considerando el problema a nivel global, West y Post (2002) sugirieron en base a un análisis de regresión que las tasas de secuestro de carbono en el suelo, con el cambio a prácticas de labranza cero, podía tener una respuesta lenta, alcanzar una tasa máxima de secuestro en cinco o 10 años y entonces declinar a casi cero en 15 a 20 años. Esto concuerda

con una revisión de Lal *et al.* (1998) basada en resultados de Franzluebbers y Arshad (1996), que muestra que puede haber poco o ningún incremento en el carbono orgánico del suelo en los primeros dos a cinco años después del cambio en las prácticas de manejo, seguido por un gran incremento en los siguientes cinco o 10 años. Campbell *et al.* (2001) concluyeron que los sistemas de rotación con trigo, en Canadá, alcanzarán un equilibrio después del cambio a labranza cero, 15 ó 20 años más tarde, siempre que las condiciones climáticas permanezcan constantes. Lal *et al.* (1998) estimaron que las tasas de secuestro de carbono pueden continuar por períodos de 25 a 50 años. Las diferentes estimaciones del secuestro de carbono pueden ser debidas parcialmente a las distintas rotaciones y a la diversidad de la rotación.

Emisiones de nitrógeno

Los sistemas de cultivo y la fertilización nitrogenada afectan la producción de biomasa y controlan en parte el aporte de carbono orgánico a las existencias de materia orgánica del suelo. La agricultura también altera el ciclo del nitrógeno. Por medio de la fertilización nitrogenada, los cultivos anuales, la monocultura y el mal manejo del agua, es más probable que el nitrógeno se pierda con el agua subterránea o superficial o en la atmósfera. El N_2O , una emisión común de los suelos agrícolas, es un potente gas de invernadero (310 veces más potente que el CO_2) y cuya concentración atmosférica ha aumentado en un 15 por ciento en los dos últimos siglos (Mosier *et al.*, 1998). Su reducción puede ser obtenida por medio de un mejor manejo del nitrógeno así como por el manejo del agua de riego ya que el N_2O es generado en el suelo, tanto bajo condiciones aeróbicas (donde ocurre la nitrificación) como bajo condiciones anaeróbicas (donde ocurre la denitrificación).

Debido a los ciclos del carbono y del nitrógeno fuertemente ligados, los cambios en las tasas de secuestro de carbono y los ecosistemas terrestres afectarán directamente los procesos de recambio del nitrógeno en los suelos y el intercambio de compuestos nitrogenados gaseosos en la biosfera-atmósfera. Algunos datos sugieren que el incremento de las emisiones de N_2O pueden estar estrechamente ligadas al incremento del secuestro de carbono en el suelo (Mosier *et al.*, 1991; Vinther, 1992; McKenzie *et al.*, 1998; Robertson *et al.*, 2000). Si la labranza cero es realmente una verdadera práctica viable de manejo, su adopción debería mitigar el impacto general porque reduce el potencial de calentamiento global determinado por los flujos de todos los gases de invernadero, entre ellos N_2O y CH_4 .

Six *et al.* (2004) evaluaron el potencial de mitigación del calentamiento global con la adopción de la labranza cero en las regiones templadas; para ello compilaron todos los datos disponibles que informaban sobre las diferencias en flujo del carbono derivado del suelo, N_2O y CH_4 , entre los sistemas de labranza convencional y labranza cero. El análisis indicó que, al menos en la primera década, el cambio de la labranza convencional a la labranza cero podría generar un fortalecimiento de las emisiones de N_2O en los ambientes húmedos y algo menores emisiones en los ambientes secos, lo cual superaría algunas de las ganancias potenciales del secuestro de carbono, y que, después de 20 años, las emisiones de N_2O podrían volver o disminuir por debajo de los flujos de la labranza convencional. Encontraron que las emisiones de N_2O con un alto potencial de calentamiento global son responsables de gran parte de la tendencia del potencial del calentamiento global, lo que sugiere que un mejor manejo del nitrógeno es fundamental para aprovechar todos los beneficios del almacenamiento de carbono en el suelo a fin de mitigar el calentamiento global. Los autores fueron cautos en la promoción de la agricultura bajo labranza cero para

reducir las emisiones de gases de invernadero y sugirieron que el total de las fuerzas de radiación necesita mayor consideración, más allá de apreciar solo el beneficio del secuestro de carbono. Indicaron que es fundamental investigar a corto y largo plazo los efectos de varias estrategias de manejo para la reducción a largo plazo del los flujos de N_2O bajo las condiciones de labranza cero. Estos resultados sugieren la necesidad de más investigación básica sobre las emisiones de N_2O durante la transición de la labranza convencional a la labranza cero y después de que se hayan alcanzado condiciones de equilibrio para cuantificar adecuadamente los efectos de sobrepasar el carbono como potencial del calentamiento global.

En Brasil, muchos estudios, pero no todos, indican que la introducción de labranza en fajas incrementa la materia orgánica del suelo (Bayer *et al.*, 2000a, b; Sa *et al.*, 2001). Sisti *et al.* (2004) evaluaron los cambios en el carbono del suelo en un estudio de 13 años que comparaba tres rotaciones distintas de cultivos en labranza en fajas y en labranza conservacionista en un suelo oxisol arcilloso muestreado hasta 100 cm de profundidad. Encontraron que, bajo una secuencia continua de trigo en invierno y soja en verano, las existencias de carbono en el suelo a 100 cm bajo la zona de labranza no eran significativamente diferentes de aquellas bajo labranza conservacionista. Sin embargo, en rotaciones con vicia, las existencias de carbono en el suelo fueron significativamente mayores en la labranza en fajas que en la labranza de conservación. Los autores concluyeron que la contribución de la fijación del nitrógeno por la leguminosa fue el factor principal responsable de la acumulación de carbono en la zona de suelo bajo labranza en fajas. Los resultados demuestran la función diversa de las rotaciones de cultivos en la acumulación de carbono en el suelo, especialmente cuando incluyen leguminosas que proporcionan nitrógeno orgánico en la zona de labranza en

fajas. La naturaleza dinámica de la relación carbono:nitrógeno puede requerir nitrógeno orgánico adicional para incrementar el secuestro de carbono en profundidad. Sisti *et al.* (2004) encontraron que la mayor parte de la ganancia de nitrógeno ocurrió a profundidades por debajo del nivel de paso del arado, lo que sugiere que la mayor parte del carbono acumulado en el suelo era derivado de los residuos de las raíces.

Otros trabajos hechos en Brasil reflejan la importancia de los efectos del manejo del suelo y las plantas sobre las pérdidas de carbono y nitrógeno a un metro de profundidad (Diekow *et al.*, 2004). Los autores evaluaron las pérdidas de carbono y nitrógeno durante un período de cultivo convencional que siguió a una pastura nativa y 17 años de labranza cero en sistemas basados en cereales y leguminosas con diferentes niveles de fertilización nitrogenada para incrementar las existencias de carbono y nitrógeno. Con la fertilización nitrogenada, las existencias de carbono y nitrógeno en la rotación avena/maíz fueron uniformes en el tiempo. Sin embargo, encontraron un incremento en las existencias de carbono y nitrógeno debido al mayor aporte de residuos en los sistemas de cultivo basados en leguminosas. La labranza cero a largo plazo con sistemas de cultivo basados en leguminosas y fertilización nitrogenada aumentaron las existencias de carbono y nitrógeno del suelo de tierras previamente cultivadas a niveles de los valores originales de las pasturas nativas. El nitrógeno y los residuos de leguminosas en una rotación fueron más efectivos para mejorar las existencias de carbono en el suelo que el aporte de fertilizante nitrogenado inorgánico de fertilizantes aplicados al cultivo de pastos en la rotación. Además, el nitrógeno de las leguminosas no requiere usar combustibles fósiles para fabricar el fertilizante nitrogenado. El cambio dominante del suelo ocurrió en la capa superficial; sin embargo, las capas más profundas fueron importantes para el almacenamiento de carbono y nitrógeno, lo

cual conduce al mejoramiento de la calidad del suelo y del ambiente.

La literatura contiene abundantes evidencias de que la labranza intensiva disminuye el carbono del suelo y apoya una mayor adopción de formas mejoradas y nuevas de labranza conservacionista o de siembra directa para preservar o incrementar la materia orgánica del suelo (Reicosky *et al.*, 1995; Paul *et al.*, 1997; Lal *et al.*, 1998). Considerando las pérdidas de carbono causadas por la agricultura intensiva, la reversión de la tendencia de la disminución del carbono del suelo con una labranza de menor intensidad debería ser beneficiosa para la agricultura y para la población mundial al tener mejor control del equilibrio global del carbono (Houghton *et al.*, 1983; Schlesinger, 1985). Los beneficios económicos y ambientales de la labranza de conservación y de la siembra directa deben ser considerados en el desarrollo de prácticas mejoradas de manejo para una producción sostenible. Sin embargo, los beneficios de la labranza cero para el secuestro de carbono orgánico en el suelo pueden ser específicos para el tipo de suelo o para el lugar y el mejoramiento del nivel del carbono orgánico del suelo puede ser muy escaso o nulo en suelos de textura fina o pobremente drenados (Wander *et al.*, 1998). Six *et al.* (2004) indicaron una fuerte dependencia en el tiempo del potencial de mitigación de la agricultura bajo labranza cero de los gases de invernadero, lo que demuestra que la mitigación por la adopción de la labranza cero es mucho más variable y compleja de lo que se creía anteriormente.

Política de los créditos de carbono

El incremento de la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera es un problema global que requiere una solución igualmente global (Kimble *et al.*, 2002; Lal, 2002). Las preocupaciones acerca los efectos

negativos del calentamiento del clima originado por el incremento de los niveles de gases de invernadero en la atmósfera ha llevado a que las naciones establezcan metas y políticas internacionales para la reducción de esas emisiones. Los objetivos iniciales para las reducciones están establecidos en el Protocolo de Kyoto dentro del marco de la Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas; este permite negociar créditos que representan reducciones verificadas de gases de invernadero de la atmósfera (Secretariado del Marco de la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, 1997).

La negociación de emisiones puede hacer posible que se obtengan reducciones netas de los gases de invernadero por mucho menor costo que sin negociaciones (Dudek *et al.*, 1997). El almacenamiento del carbono en los suelos usando las técnicas de la agricultura de conservación puede ayudar a superar las emisiones de gases de invernadero y al mismo tiempo proporcionar numerosos beneficios ambientales, tales como incrementar la productividad, aumentar la infiltración de agua y mantener la diversidad de la flora y la fauna del suelo (Lal *et al.*, 1998; Lal, 2002). El almacenamiento de carbono en los bosques también puede proporcionar beneficios ambientales resultantes del incremento de árboles maduros que contribuyen al secuestro de carbono (Row *et al.*, 1996). Si bien el carbono es un elemento fundamental para que la agricultura contribuya a solucionar el problema del calentamiento global, una advertencia crítica es que otros gases de invernadero cambian con los cambios en el uso de la tierra, entre ellos CH_4 y N_2O . Es necesario considerar al potencial neto de calentamiento global, no solo para las futuras negociaciones sobre el carbono sino en créditos potenciales para el calentamiento global en lugar de créditos solo para el carbono.

Dado que el interés en el secuestro de carbono aumenta y que los mercados internacionales para las negociaciones de carbono están

avanzadas, es importante que se desarrollen políticas adecuadas que prevengan la explotación del carbono orgánico del suelo y al mismo tiempo reemplacen el carbono perdido y establezcan su valor (Walsh, 2002). Son necesarias políticas que estimulen el secuestro de carbono por los beneficios ambientales que esto genera (Kimble *et al.*, 2002) y al hacer que el carbono sea un producto básico es necesario determinar su valor de mercado con un criterio racional.

Los agricultores y la sociedad se beneficiarán del secuestro de carbono. El mejoramiento de la calidad del suelo beneficia a los agricultores pero los agricultores y la sociedad en general se benefician del control de la erosión, de la reducción de los sedimentos en los depósitos y corrientes de agua, por el mejoramiento de la calidad del aire y del agua y la biodegradación de los contaminantes y productos agroquímicos. Los agricultores deben ser compensados por los beneficios sociales del secuestro de carbono y los mecanismos que se desarrollen deberán permitir la negociación del carbono y mantener los derechos de propiedad. Un criterio importante para desarrollar el sistema es la medida y la verificación de las opciones de carbono a ser secuestrado y la importancia que los responsables de las políticas sean conscientes de estos procedimientos y de las dificultades técnicas. El uso de los mecanismos de mercado de los créditos internacionales de carbono debe ayudar a enfrentar el desafío del cambio climático y las futuras limitaciones del carbono, el cual permite el desarrollo sostenible al más bajo costo.

Los sistemas de contabilización de los créditos del carbono deben ser transparentes, uniformes, comparables, completos, seguros y verificables (IPCC, 2000). Otros atributos para un sistema global exitoso incluyen la participación global y la liquidez del mercado, los enlaces con diferentes esquemas de negociación, bajos costos de transacción y reconocimientos para acciones de reducción

voluntaria de las emisiones antes de que se establezcan los mandatos al respecto. La caracterización de las relaciones entre el carbono del suelo y la calidad del agua y del aire, y todos los otros beneficios ambientales, deberían facilitar la aceptación social de este tipo de agricultura. El mayor obstáculo es el proceso educativo dirigido a los ejecutivos y al público consumidor de alimentos, que requiere un cierto mejoramiento.

Un creciente número de organizaciones en todo el mundo están ejecutando proyectos voluntarios beneficiosos para el clima como un medio para mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos y los riesgos. Las industrias y las instituciones de todo el mundo se están dando cuenta de que los beneficios de un buen manejo ambiental superan el costo, actual y futuro, de un buen manejo integral que incluye estrategias para reducir las emisiones de gases de invernadero, la exposición a riesgos y para fortalecer las operaciones competitivas en general. Las organizaciones multinacionales están participando en los mercados de negociación de créditos de carbono a fin de evitar futuros costos y proteger sus franquicias frente a la creciente preocupación internacional (Walsh, 2002). En la evolución hacia una economía global y como una preocupación sobre el impacto global ambiental, el manejo de las emisiones de CO₂ será un factor importante en la planificación y en las operaciones de entidades industriales y gubernamentales en todo el mundo, lo que crea desafíos y oportunidades para aquellos que sean capaces de reconocer y capitalizar las mismas.

Los servicios globales del ecosistema proporcionados por los agricultores y otros propietarios de tierras pueden proveer una fuente de emisión de créditos de carbono a ser vendidos por los emisores de carbono y, por lo tanto, proporcionar una fuente adicional de ingresos para los agricultores, especialmente para aquellos que participan de la labranza cero. Las negociaciones de créditos de carbono tienen el potencial para hacer que la

agricultura de conservación sea más provechosa y al mismo tiempo fortalezca el ambiente. El potencial de los créditos de carbono ha atraído considerable atención de los agricultores, probablemente compradores de los créditos de carbono. Sin embargo, es difícil estar completamente informado acerca del desarrollo de los créditos de carbono en razón de su potencial, de su complejidad técnica y de la velocidad del desarrollo de este tema. Las reglas para las negociaciones de créditos de carbono aún no han sido acordadas pero el diálogo internacional está tratando de desarrollar un sistema y unas reglas aceptables para las negociaciones. Las organizaciones que están trabajando para desarrollar un sistema de negociaciones de créditos de carbono sugieren que es necesario algún tipo de mecanismo internacional a fin de que esas negociaciones sean una realidad.

La información sobre negociaciones para créditos de carbono se está poniendo rápidamente a disposición del público; sin embargo, la información sobre créditos negociados privadamente es escasa. En este momento existe una cierta incertidumbre sobre qué compañías emergerán como fuentes confiables de información de alta calidad y las entidades que puedan manejar las negociaciones en forma confiable y justa. Los abastecedores potenciales y los compradores de créditos de carbono deben proceder con precaución porque muchos de los temas importantes de los créditos de carbono y sus negociaciones deben ser aun clarificados. Es necesario convencer a los ejecutivos, a los ambientalistas y a los industriales de que el secuestro de carbono en el suelo es un importante beneficio adicional de la adopción de sistemas de producción de agricultura conservacionista, mejorados y recomendados. Esta opción es básica, aparte de la amenaza del cambio climático global generado por los combustibles fósiles.

Las prácticas de agricultura de conservación (especialmente la labranza cero) pueden contribuir a mitigar el calentamiento global al re-

ducir las emisiones de carbono de las tierras agrícolas y secuestrando carbono en el suelo por medios legales, con incentivos de mercado y medios voluntarios o educativos (Lal, 2002). Las políticas públicas pueden estimular la adopción de esas prácticas. Sin embargo, en el momento actual hay un cierto grado de incertidumbre para los inversores y los potenciales inversores en los sumideros forestales de carbono respecto a las reglas especiales que se aplicarán a los sumideros según las indicaciones del Protocolo de Kyoto. Los inversores y los potenciales inversores en los sumideros de carbono deben conocer de que hay incertidumbre a nivel internacional. Los costos administrativos y de las transacciones podrían tener un papel fundamental para determinar el éxito de cualquier negociación de créditos de carbono. Se espera que los costos en esas áreas sean minimizados por medio de mejores técnicas y servicios para medir e informar acerca del carbono secuestrado, los consultores del sector privado, las economías de escala y la emergencia de mecanismos y estrategias de mercado tales como los grupos de carbono o su agregación. Existen riesgos involucrados en la venta adelantada de créditos de carbono en cualquier sistema formalizado de negociación internacional y aquellos que participen en las primeras negociaciones deben clarificar las responsabilidades y obligaciones. Sin embargo, se debe poner atención en el diseño de estas políticas para asegurar su éxito, para evitar consecuencias económicas y ambientales involuntarias o adversas, y para proporcionar un beneficio social máximo.

Resumen de la reducción de las emisiones ambientales y el secuestro de carbono

Mientras avanzan los conocimientos sobre las emisiones de carbono, el almacenamiento de carbono en el suelo y sus funciones fundamentales sobre los beneficios ambientales, es

necesario comprender los beneficios ambientales secundarios de la labranza cero y su significado para una producción agrícola sostenible. La comprensión de estos beneficios ambientales está directamente relacionada con el carbono del suelo y llegar a prácticas de conservación ejecutadas sobre la tierra fortalecerá el desarrollo de la armonía entre los seres humanos, al mismo tiempo que incrementará la producción de alimentos, fibras y biocombustibles.

La reducción de las emisiones de carbono del suelo y el incremento del almacenamiento de carbono en el suelo pueden aumentar la infiltración, incrementar la fertilidad, reducir la erosión hídrica y eólica, minimizar la compactación, mejorar la calidad del agua, impe-

dir el movimiento de los pesticidas y mejorar la calidad ambiental. El incremento de los niveles de gases de invernadero en la atmósfera requiere que todas las naciones establezcan metas nacionales e internacionales y políticas para las reducciones. El hecho de aceptar el desafío de mantener la seguridad alimentaria por medio de la incorporación del almacenamiento de carbono en la planificación de la conservación demuestra preocupación por nuestros recursos globales y nuestros deseos de trabajar en armonía con la naturaleza. Esta preocupación abre la posibilidad de una función fundamental para la labranza cero, la cual tendrá un impacto de primer orden sobre la sostenibilidad global y nuestra futura calidad de vida.

18

Algunas comparaciones económicas

C. John Baker

La economía a largo plazo de la labranza cero estará determinada más por la maximización del rendimiento de los cultivos y por los retornos en efectivo que por la minimización del costo de los insumos.

En este capítulo se analizan algunas comparaciones económicas de la labranza convencional comparada con la labranza cero. Sin embargo, no importa cómo se hacen las comparaciones ya que, en último grado, los rendimientos de los cultivos afectarán los resultados tanto como el costo de los insumos.

También son importantes las comparaciones entre diferentes niveles de labranza cero. Por ejemplo, una sembradora de poco costo para labranza cero que cuesta la mitad de una alternativa más avanzada causa una reducción de solo el 4-5 por ciento de los rendimientos de los cultivos, pero será una mala inversión.

Sin embargo, la comparación más común es entre labranza convencional y labranza cero. Las opiniones abundan sobre si es más económico usar labranza cero o labranza convencional. Las comparaciones a menudo inducen a error por las siguientes razones:

1. Los agricultores que consideran cambiar de labranza convencional a labranza cero a menudo comparan los costos de reclutar un contratista para labranza cero con el costo de hacer la labranza por su cuenta.

Muchos incluyen solamente los costos directos, como el combustible, como costo de la labranza dado que ya poseen el equipo que consideran que ya ha sido amortizado. El problema real no está claro hasta que los agricultores tienen que reemplazar su equipo de labranza desgastado. De cualquier manera, se intentará analizar esta situación comparando el costo de las máquinas de labranza convencional usadas con las máquinas para labranza cero usadas.

2. Es comprensible que los agricultores, aun cuando estén dispuestos a cambiar a labranza cero, conserven sus equipos de labranza convencional al menos por unos pocos años, como una forma de seguro («en caso de que la labranza cero no funcione») mientras que pagan a un contratista por los trabajos de labranza cero. En realidad, por un cierto período, están pagando dos veces, pero no tanto como ellos imaginan, tal como demuestran los últimos análisis.
3. Muchas comparaciones penalizan la labranza cero al imponer ciertas reducciones esperadas en los rendimientos de los cultivos y/o incrementos en la densidad de siembra y/o dosis de fertilización durante los primeros años. Esto no se aplica cuando se usan equipos y tecnologías modernos para labranza cero. Las últimas experiencias han mostrado repetidamente que

usando maquinarias y sistemas avanzados para labranza cero se obtendrán rendimientos de cultivos que en el Año 1 son por lo menos comparables con la labranza convencional y probablemente significativamente mejores en los años sucesivos. En realidad, la densidad de siembra de algunos cultivos y pasturas se reduce hasta un 50 por ciento y no se incrementa. Por otro lado, si se usan sistemas y tecnologías de bajo nivel para labranza cero puede ser que ocurran algunas reducciones de los rendimientos.

4. Las comparaciones económicas deberían contabilizar (pero raramente lo hacen) las reducciones en la labranza cero de la mano de obra, número de tractores, horas de trabajo de los tractores, consumo de combustible y depreciación. Por ejemplo, un agricultor en los Estados Unidos de América, que usaba métodos modernos de labranza cero, informó recientemente que ahora usa más combustible para cosechar sus cultivos que para las tareas culturales; un hecho desconocido en la labranza convencional (D. Wolff, 2005, comunicación personal).
5. En el caso de la labranza cero, los tractores por lo general trabajan solo una cuarta parte de las horas anuales trabajadas en la labranza convencional y, consecuentemente, duran más. Por lo tanto, el costo de la depreciación anual, de los intereses y del seguro pueden reducirse y los intervalos de reemplazo de la maquinaria son mayores.
6. Algunos agricultores tienen una fuerza de trabajo permanente sin funciones alternativas para la misma cuando la demanda para la siembra se reduce; aparentemente, en este aspecto, la labranza cero no ofrece una buena perspectiva. Por otro lado, los agricultores progresistas han usado el tiempo libre para aumentar el área cultivada cada año. El análisis económico de este elemento es de difícil planteamiento.
7. La cantidad de capital recuperado de la venta de equipo usado para labranza con-

venencial disminuirá a medida que la labranza cero se difunda. El mercado para equipos de segunda mano se reducirá y esto tendrá cierto impacto para algunos agricultores cuando hagan el cambio.

¿Cómo se dividen las cifras en ambos lados de la labranza convencional y de la labranza cero? Se tratará de proporcionar respuestas desde dos perspectivas. La primera fue examinar cuatro escenarios posibles de propiedad (C. J. Baker, 2000, datos sin publicar). Se usaron los costos de equipos en Nueva Zelanda ya que este país tiene algunos de los equipos más costosos y avanzados para labranza cero, así como también alternativas más económicas. El segundo análisis consistió en revisar los resultados de lo cobrado por un contratista a un cliente, en Inglaterra, en dos estaciones de siembra. La primera estación (2002/2003) fue para labranza convencional y labranza mínima y la segunda estación (2003/2004) fue para labranza cero (J. Alexander, 2004, comunicación personal).

En ambos análisis se asume que los rendimientos de los cultivos son los mismos para labranza convencional y para labranza cero. Tal suposición es válida solamente si se usa equipo avanzado (por lo general más costoso) para labranza cero. Si se usa equipo menos avanzado (menos costoso) para labranza cero es probable que los rendimientos de los cultivos sean menores que en la labranza convencional, y además que agregarán un costo adicional a la labranza cero. Las comparaciones citadas más adelante pueden, por lo tanto, requerir ajustes para los equipos menos avanzados.

Obviamente, las cifras reales pueden requerir ajustes para otros países y años, pero los lectores pueden cambiar los datos de los insumos y recalcular los resultados sobre la base de los insumos locales. En la mayoría de los casos los valores relativos permanecerán aproximadamente iguales, sin que tenga mayor importancia el cambio de las cifras reales según el tiempo y el lugar.

Comparaciones en Nueva Zelanda

- Escenario A: economía del uso de un contratista para labranza convencional o para labranza cero.
- Escenario B: economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o para labranza cero.
- Escenario C: economía de la conservación del equipo para labranza convencional o compra de equipo para labranza cero, nuevo o usado.
- Escenario D: economía de la conservación del equipo usado para labranza convencional o reclutar un contratista para labranza cero.

Suposiciones

1. Área sembrada 300 hectáreas: 150 hectáreas sembradas dos veces por año (el área sembrada podría incrementarse substancialmente con la labranza cero, pero esta posibilidad no fue tomada en consideración).
2. Con labranza cero, glifosato, cebo para babosas y chloropyrifos, usados en primavera para control de plagas y malezas.
3. Con labranza convencional, se aplica glifosato antes de la arada de primavera (a una dosis menor que para labranza cero) pero no se aplica en la siembra de otoño.
4. Todos los valores están dados en dólares de Nueva Zelanda, en el año 2004.

Escenario A: economía del uso de un contratista para labranza convencional o para labranza cero

Siembra de 150 hectáreas de trigo de primavera (Cuadro 33) seguido por 150 hectáreas de un cultivo forrajero de otoño (Cuadro 34). El Cuadro 35 resume los costos antes de pagar impuestos.

Cuadro 33 Cultivos de primavera que usan contratistas (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Glifosato (incluida aplicación) ^a	55/ha ^b	65/ha
Chloropyrifos (aplicado con el glifosato)		40/ha ^c
Cebo para babosas (aplicado con la sembradora)		40/ha
Contratista	250/ha	40/ha
Semillas y fertilizante	Igual	Igual
Total	305/ha	245/ha
Rendimiento del cultivo	Igual	Igual
× 150 hectáreas	45 750	36 750

^a El glifosato se aplica a una dosis más baja en labranza convencional.

^b *N. del T.*: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

^c El costo de chloropyrifos se reduciría a N\$Z 8/ha con menor presión de las plagas.

Cuadro 34 Cultivos de otoño que usan contratistas (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Glifosato		
Chloropyrifos		
Cebo para babosas		
Contratista	150/ha	100/ha
Semillas y fertilizantes	Igual	Igual
Total	150/ha	100/ha
Rendimiento del cultivo	Igual	Igual
× 150 hectáreas	22 500	15 000

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

CONCLUSIONES

1. Basado en el trabajo de un contratista, los costos (y, por lo tanto, el margen bruto) para un año favorecen la labranza cero: N\$Z 16 500 o N\$Z 55/ha.

Cuadro 35 Resumen de costos anuales totales antes de los impuestos (en N\$Z).

	Labranza convencional	Labranza cero
Costos	68 250	51 750
Costo/ha	227/ha	172/ha
Diferencia (en favor de labranza cero)		16 500 55/ha

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

2. Aun si el glifosato es omitido de la labranza en primavera (a N\$Z 55/ha), la comparación todavía favorece la labranza cero en N\$Z 8 250/año o N\$Z 27,50/ha para todo el año.
3. En este análisis no se han considerado los beneficios de establecer cultivos o pasturas de otoño usando métodos avanzados de labranza cero inmediatamente después de la cosecha, ni tampoco para la utilización adicional en primavera de la tierra que procede de la labranza cero. Estos factores por sí solos pueden ser evaluados a un valor adicional de N\$Z 440/ha en favor de la labranza cero (W. R. Ritchie, 2003, datos sin publicar).

NOTAS

1. Cuando se siembran colza, arvejas u otros cultivos de hoja ancha en primavera, el costo del chloropyrifos para labranza cero puede ser reducido a N\$Z 8/ha, lo cual reduce el costo por hectárea en labranza cero en primavera a N\$Z 213/ha (costo general N\$Z 140/ha), e incrementa la diferencia general entre los dos a N\$Z 87/ha en favor de la labranza cero.
2. El contrato de labranza varía de un lugar a otro de N\$Z 250/ha a N\$Z 500/ha. Se usó la cifra más baja.
3. El contrato para labranza cero con equipos avanzados varía entre N\$Z 100/ha y N\$Z 150/ha, dependiendo del contorno, tamaño del predio, etc. Se usó la cifra más baja.

4. Si se usa el equipo para labranza cero más económico, los costos de siembra se reducirán pero es probable que los rendimientos de los cultivos sean menores en mayor proporción que el ahorro en los costos.
5. Los herbicidas y pesticidas a menudo son innecesarios en la siembra de otoño con labranza cero. Algunos o todos pueden ser necesarios en otras situaciones; en esos casos el costo a dosis reducidas de aplicación debería ser agregado a los costos de la labranza cero.
6. La labranza de otoño en Nueva Zelanda por lo general involucra labranza mínima.

Escenario B: economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o para labranza cero

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivos forrajeros en otoño. Los costos de capital asociados con la compra de todos los equipos nuevos se encuentran en el Cuadro 36. Los costos operativos anuales antes del pago de los impuestos se encuentran en el Cuadro 37.

CONCLUSIONES

1. El costo del capital del equipo avanzado para labranza cero fue muy similar al del equipo nuevo para labranza convencional.
2. Con los nuevos equipos, se pueden hacer ahorros anuales en costos operativos de aproximadamente N\$Z 18 000/año (N\$Z 61/ha) si se compra equipo avanzado para labranza cero en lugar de equipos para labranza convencional.

NOTAS

1. La depreciación fue calculada directamente como:
Tractores para labranza: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (10 años).

Cuadro 36 Costos de capital antes del pago de los impuestos por la compra de equipos nuevos (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Tractor 170 hp (1)		170 000
Tractor 120 hp (1)	120 000	
Tractor 80 hp (1)	80 000	
Asperjadora	6 000	6 000
Arado (5 surcos)	28 000	
Rastra (3 m)	23 000	
Rodillo	6 000	
Niveladora	3 000	
Sembradora	34 000	124 000
Costo total del capital	300 000	296 000
Diferencia		Insignificante

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Cuadro 37 Costo anual antes del pago de los impuestos del equipo nuevo (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Depreciación ^a		
(tractores)	10 000	4 250
(otros equipos)	2 500	3 150
Intereses ^b (9%) en inversiones promedio	20 250	19 980
Mantenimiento ^c (tractores c/u 5%/año)	10 000	8 500
Mantenimiento ^c (equipo en contacto con la tierra c/u 7%/año)	6 580	8 400
Mantenimiento ^c (equipo no en contacto con la tierra c/u 3%/año)	180	180
Combustible		
(50 l/ha labranza primavera) c/u 65 c/l	4 875	
(25 l/ha labranza otoño) 65 c/l	2 438	
(15 l/ha labranza cero primavera y otoño) c/u 65 c/l		2 925
Mano de obra		
(4 h/ha labranza primavera) c/u N\$Z 15/h	9 000	
(2 h/ha labranza otoño) c/u N\$Z 15/h	4 500	
(1 h/ha labranza cero primavera y otoño) c/u N\$Z 15/h		4 500
Total anual costos de operación	70 323	51 885
Costo por hectárea	234	172
Diferencia (en favor de labranza cero)		18 438 (o 61/ha)

Nota: a,b,c: ver el apartado «Notas» del Escenario B.

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Tractor para labranza cero: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (20 años).

Otros equipos: depreciación anual = nuevo precio menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre la vida útil (20 años).

2. El interés fue calculado sobre el promedio de las inversiones (nuevo precio más el precio de cambio dividido entre 2) \times 0,09.
3. El mantenimiento se tomó de datos publicados (Bainer *et al.*, 1955).
4. El costo actual total de la mano de obra probablemente sea cercano a N\$Z 20/hora si se consideran tiempo perdido, viajes, mantenimiento, etc.

*Escenario C: economía
de la conservación del equipo
para labranza convencional y compra
de equipo para labranza cero, nuevo
o usado*

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivo forrajero de otoño. Los costos de capital asociados con la compra de equipos nuevos o usados para labranza cero comparados con la conservación de la propiedad de los equipos de labranza se muestran en el Cuadro 38. Los costos de operación antes del pago de los impuestos de los equipos nuevos o usados para labranza cero se muestran en el Cuadro 39.

CONCLUSIONES. Los costos de capital se reducen virtualmente a la mitad en el caso de equipos de segunda mano (labranza o labranza cero) comparados con los nuevos equipos. Unos \$EE UU 95 000-97 500 de costos de capital pueden ahorrarse comprando equipos de segunda mano para labranza o labranza cero.

NOTAS

1. El valor del equipo usado se consideró dos tercios del valor del equipo nuevo si bien el equipo está en la mitad de su vida útil. El valor comercial continúa siendo el 50 por ciento de su valor nuevo al final de su vida útil.

CONCLUSIONES

1. Los costos anuales de propiedad y operación del equipo de labranza convencional usado (N\$Z 59 228/año) fueron aproximadamente N\$Z 11 000 menor que para el equipo nuevo de labranza (N\$Z 70 323/año – Escenario B).

Cuadro 38 Costos de capital antes del pago de los impuestos de los equipos nuevos para labranza cero y de equipo usado para labranza convencional y labranza cero (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional (usado) ^a	Labranza cero (nuevo)	Labranza cero (usado) ^a
Tractor 170 hp (1)		170 000	14 000
Tractor 120 hp (1) (3 300 h)	80 000		
Tractor 80 hp (1) (3 300 h)	54 000		
Asperjadora	4 500	6 000	4 500
Arado (5 surcos, usado)	19 000		
Rastra (3 m, usada)	15 500		
Rodillo (usado)	4 500		
Niveladora (usada)	4 500		
Sembradora convencional (usada)	23 000		
Sembradora labranza cero		120 000	80 000
Total costo capital	205 000	296 000	198 500
Diferencia (a favor de equipo usado – ver Escenario B)	95 000		97 500

Nota: a ver el apartado «Notas» del Escenario C.

N. del T.: En 2004, aprox. 1 NZ\$ = 0,77 \$EE UU.

Cuadro 39 Costos anuales, antes del pago de los impuestos, de equipo nuevo y usado para labranza cero y equipo para labranza convencional usado (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional (usado)	Labranza cero (nuevo)	Labranza cero (usado)
Depreciación ^a (tractores)	6 800	4 250	2 900
Depreciación ^a (otros equipos)	2 100	3 150	2 150
Interés ^b c/u 9% (tractores y equipos)	15 975	19 980	15 592
Mantenimiento ^c tractores c/u 5% precio nuevo/año)	10 000	8 500	8 500
Mantenimiento ^c equipo en contacto con la tierra c/u 7% precio nuevo/año)	3 360	8 400	8 400
Mantenimiento ^c (equipo no en contacto con la tierra c/u 3%/año)	180	180	180
Combustible			
(50 l/labranza primavera) c/u 65 c/l	4 875		
(25 l/labranza otoño) c/u 65 c/l	2 438		
(15 l/labranza primavera y otoño labranza cero) c/u 65c/l		2 925	2 925
Mano de obra			
(4h/ha labranza primavera) c/u N\$Z 15/h	9 000		
(2h/ha labranza otoño) c/u N\$Z 15/h	4 500		
(1 h/ha labranza cero primavera y otoño) c/u N\$Z 15/h		4 500	4 500
Total costos anuales de operación	59 228	51 885	45 147
Costo por hectárea	197	173	150
Diferencia (en favor de labranza cero)		7 343 (o 24/ha)	14 081 (o 46/ha)

Notas: ^{a,b,c}: ver el apartado «Notas» del Escenario C
N del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

- Los costos anuales de propiedad y operación del equipo de labranza convencional usado (N\$Z 59 228/año) fueron aproximadamente N\$Z 7 000 (o N\$Z 24/ha), más que la propiedad y operación de equipo nuevo avanzado para labranza cero (N\$Z 51 885/año) y aproximadamente N\$Z 14 000 (o N\$Z 46/ha) más que los equipos avanzados para labranza cero usados.

NOTAS

- La depreciación fue calculada directamente como:
Tractores para labranza: depreciación anual = precio usado menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio)

dividido entre la vida útil remanente (5 años).

Tractor para labranza cero: depreciación anual = precio nuevo o usado menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre vida útil remanente (20 años para nuevo, 10 años para usado).

Otros equipos: depreciación anual = precio nuevo menos el precio de cambio (50 por ciento del nuevo precio) dividido entre vida útil remanente (20 años para nuevo, 10 años para usado).

- El interés fue calculado sobre el promedio de las inversiones (precio nuevo o usado más el precio de cambio dividido entre 2) \times 0,09.

3. El mantenimiento se tomó de datos publicados (Bainer *et al.*, 1955).
4. Los costos de mantenimiento mostrados para el equipo usado son conservadores porque el mantenimiento podría incrementarse con la edad de las máquinas.

Escenario D: economía de conservar el equipo usado para labranza convencional o reclutar un contratista para labranza cero

Establecimiento de 150 hectáreas de trigo de primavera seguido por 150 hectáreas de cultivo forrajero de otoño. Los costos de capital asociados antes del pago de los impuestos de equipos usados para labranza comparados con contratación para labranza cero se muestran en el Cuadro 40.

CONCLUSIÓN

1. La propiedad del equipo usado para labranza convencional fue más costosa (aproximadamente N\$Z 15 000 por año o 52/ha) que reclutar un contratista con equipo avanzado para labranza cero.

Resumen y conclusiones

Los Escenarios A–B–C–D se resumen en el Cuadro 41.

Cuadro 40 Costos de equipo usado de labranza convencional comparados con la contratación de un operador para labranza cero (en N\$Z).

Elemento	Labranza convencional	Labranza cero
Costos anuales de operación de equipo de labranza usado (de Escenario C)	59 228	
Glifosato en primavera (de Escenario A)	8 250	
Costo anual del contratista, incluidos glifosato y pesticidas (de Escenario A)		51 750
Totales	67 478	51 750
Costo por hectárea	225	172
Diferencia (en favor de labranza cero)		15 728 (52/ha)

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

Conclusiones generales

1. No hay mayor diferencia entre las comparaciones de equipo nuevo o equipo usado,

Cuadro 41 Resumen de los Escenarios A–B–C–D.

Escenario	Labranza convencional (N\$Z/año)	Labranza convencional (N\$Z/ha)	Labranza cero (N\$Z/año)	Labranza cero (N\$Z/ha)	Diferencias	
					(N\$Z/año)	(N\$Z/ha)
Escenario A (contratistas)	68 250	227	51 750	172	16 500	55
Escenario B (propiedad equipo nuevo)	70 323	234	51 885	173	18 438	61
Escenario C (propiedad equipo usado)	59 228	197	45 145-51 885	150-173	7 343-14 081	24-47
Escenario D (propiedad equipo usado vs. contratista)	67 478	225	51 750	172	15 728	53

N. del T.: En 2004, aprox. 1 N\$Z = 0,77 \$EE UU.

reclutamiento de contratistas o combinaciones de estas opciones. En todos los casos la labranza cero fue menos costosa que la labranza convencional.

2. En el caso del cultivo de 150 hectáreas anuales fue más económico usar equipos avanzados para labranza cero de cualquier tipo que usar cualquier tipo de equipo de labranza convencional (N\$Z 7 000 a N\$Z 18 000/año, o N\$Z 24 a N\$Z 61/ha).
3. La menor diferencia se encontró en la propiedad del equipo usado para labranza convencional comparado con la propiedad de equipo nuevo para labranza cero (N\$Z 24/ha).
4. La mayor diferencia se encontró entre la propiedad de equipo nuevo para labranza convencional comparada con la propiedad de equipo nuevo para labranza cero (N\$Z 61/ha).
5. Todas las otras comparaciones resultaron en ahorros de aproximadamente N\$Z 50/ha usando labranza cero.
6. El reclutamiento de un contratista para labranza cero con equipos avanzados está muy a menudo acompañado por un alto nivel de experiencia del especialista.
7. El único argumento económico válido para no adoptar la labranza cero avanzada es que el agricultor no disponga de una sembradora avanzada para labranza cero. Es probable que haya rendimientos de los cultivos por debajo de la media, a veces en forma regular, con equipos menos avanzados para labranza cero. La labranza convencional es menos sensible a los equipos menos avanzados.
8. Si un agricultor elige continuar con la propiedad del equipo usado para labranza convencional mientras recluta un contratista con equipo avanzado para ensayar la labranza cero (una práctica razonable), permanecerán los costos de la depreciación y los intereses del equipo de labranza, si bien este equipo no es usado (N\$Z

80/ha, Escenario C). Dado que el gasto por el empleo de un contratista para labranza cero es menor que una opción de labranza convencional (N\$Z 53/ha, Escenario D), el costo neto de ensayar la labranza cero con equipo avanzado durante un año será de cerca de N\$Z 27/ha (N\$Z 80 a N\$Z 53), que es una cifra modesta comparada con la perspectiva de ahorrar de N\$Z 24 a N\$Z 61/año, por cada año después de la adopción de la labranza cero.

Comparaciones europeas

En estas comparaciones, un contratista inglés de labranza convencional proporcionó los datos siguientes de un cliente que cultivó 404 hectáreas anuales. Los datos de la labranza convencional y de la labranza mínima fueron los precios reales cobrados al agricultor en los años precedentes. Las cifras de la labranza cero con equipo avanzado son cotizaciones del año 2004.

Se comparan dos escenarios: labranza convencional con arado *versus* labranza cero y labranza mínima *versus* labranza cero. Los programas de labranza convencional y de labranza mínima se resumen en los Cuadros 42 y 43 y son considerados típicos para muchas propiedades inglesas.

El caso de labranza cero fue para equipos de labranza cero más costosos y avanzados (que aseguran la productividad con, por lo menos, el mismo rendimiento de los sistemas de labranza), tal como se refleja en el costo más alto por hectárea. Como en el caso de las comparaciones en Nueva Zelanda, la sustitución de una sembradora menos avanzada por una sembradora más avanzada para labranza cero podría haber tenido el potencial para reducir los costos de la labranza cero, pero también tuvo el potencial para reducir los rendimientos de los cultivos en labranza cero.

Cuadro 42 Comparación de los costos de labranza convencional y labranza cero en Inglaterra (en £).

	Costo/ha	Área	Total (£)
Máquinas de labranza			
Subsolador con rodillo	31,75	404	12 827,00
Arado	36,00	404	14 544,00
«Cultipress»	14,20	404	5 736,00
Rodillo	10,75	404	4 343,00
Rastra	25,60	200	5 120,00
Fertilización	7,50	404	3 030,00
Combinación de sembradora convencional	29,75	304	9 044,00
Cultivador-sembradora	30,00	100	3 000,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			60 472,80
Máquinas para labranza cero			
Sembradora avanzada para labranza cero	55,00	404	22 220,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			25 048,00
Diferencia			35 420,80
Diferencia por hectárea			87,68/ha

N. del T.: en 2004, aprox. 1 £ = 2,00 \$EE UU.

Cuadro 43 Comparación de los costos de labranza mínima y labranza cero en Inglaterra (en £).

	Costo/ha	Área	Total
Máquinas para labranza mínima			
Subsolador con rodillo compresor	31,75	202	6 413,50
Tren de labranza	35,00	404	14 140,50
«Cultipress»	14,20	404	5 736,80
Rodillo	10,75	404	4 343,00
Fertilización	7,50	404	3 030,00
Cultivador-sembradora	30,00	404	12 120,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			48 611,30
Máquinas para labranza cero			
Sembradora avanzada para labranza cero	55,00	404	22 220,00
Aspersión	7,00	404	2 828,00
Total			25 048,00
Diferencia			23 563,30
Diferencia por hectárea			58,32/ha

N del T.: en 2004, aprox. 1 £ = 2,00 \$EE UU.

Escenario A: comparación de labranza cero con labranza total basada en el arado

Establecimiento de un cultivo de cereales en una finca de 404 hectáreas usando un sistema basado en el arado, comparado con labranza cero avanzada (costo del contratista). Los costos comparativos se encuentran en el Cuadro 42.

Escenario B: comparación de labranza cero con labranza mínima

Establecimiento de un cultivo de cereales en una finca de 404 hectáreas usando un sistema de labranza mínima, comparado con labranza cero avanzada (costo del contratista). Los costos comparativos se encuentran en el Cuadro 43.

Conclusiones

1. Sobre la base de un contratista, la labranza mínima fue más económica que la labranza convencional en £29/ha.
2. Sobre la base de un contratista, la labranza cero avanzada fue más económica que la labranza con arado en £87/ha.
3. Sobre la base de un contratista, la labranza cero avanzada fue más económica que la labranza mínima en £58/ha.
4. Estas comparaciones podrían no ser válidas si se hubieran usado máquinas para labranza cero menos avanzadas.
5. Las comparaciones entre labranza convencional, labranza mínima y labranza cero son dependientes de las máquinas, dado que los modelos para labranza cero tienen el potencial de influenciar marcadamente los rendimientos de los cultivos.

Resumen de algunas comparaciones económicas

1. La comparación económica más común es entre labranza cero y labranza conven-

cional pero tal comparación a menudo induce a error por varias razones y suposiciones.

2. Varios escenarios posibles ofrecen ejemplos económicos de labranza convencional *versus* labranza cero, pero los elementos y cifras requieren cambios para otros países y años.
3. Los costos de las máquinas involucradas con la decisión del cambio de sistema de labranza convencional a labranza cero son un punto muy importante.
4. Mantener la propiedad de las máquinas de labranza por un cierto período después de haber comenzado la labranza cero agrega costos al proceso de transición pero puede ser una elección cómoda y que muchos agricultores se pueden permitir.
5. La economía de utilizar un contratista de labranza convencional o un contratista para labranza cero favorece este último.
6. La economía de la compra de equipo nuevo para labranza convencional o de comprar equipo nuevo y avanzado para labranza cero muestra costos de capital similares en ambos casos, pero los costos operativos son significativamente más bajos para labranza cero.
7. La economía de conservar el equipo usado o de comprar equipos nuevos o usados para labranza cero muestra que los costos de capital se reducen a la mitad al comprar equipo de segunda mano, tanto para labranza convencional como para labranza cero, en comparación con equipos nuevos; aquí también los costos operativos favorecen el equipo para labranza cero.
8. La economía de retener el equipo usado de labranza o reclutar un contratista para labranza cero muestra que la propiedad del equipo de labranza usado es más costosa que reclutar un contratista con equipo avanzado para labranza cero.

9. Hay escasa diferencia entre las comparaciones hechas entre equipo nuevo o usado, reclutar contratistas o las combinaciones de estas opciones. En todos los casos la labranza cero fue menos costosa que la labranza convencional.
10. El reclutamiento de un contratista para labranza cero es muy a menudo acompañado por un alto nivel de capacidad técnica.
11. Un agricultor estadounidense que recientemente se convirtió de la labranza convencional a la labranza cero informa que con equipo avanzado para labranza cero se llega siempre a una situación positiva. No solo obtuvo sus mejores rendimientos con labranza cero, sino que ahora usa menos combustible para las tareas del cultivo que para las tareas de la cosecha.

19

Procedimientos para el desarrollo y la transferencia de tecnología

C. John Baker

Medir el comportamiento mecánico de las máquinas para labranza cero es mucho menos importante que medir su comportamiento biológico.

Uno de los aspectos que distinguen los experimentos hechos con máquinas agrícolas para labranza de la tierra es que hay pocas técnicas experimentales comunes e instrumentos estandarizados que puedan ser aplicados universalmente. Los modelos y las funciones de la mayoría de las máquinas agrícolas son bastante diversos; por lo tanto, las técnicas usadas para su evaluación están diseñadas para propósitos específicos y para responder a preguntas también específicas.

Esta situación contrasta, por ejemplo, con experimentos con plantas en los cuales un procedimiento común es su cultivo en macetas o en el suelo, cada una con el tratamiento elegido. Dado que todas las plantas cumplen esencialmente las mismas funciones de utilización de la energía solar y de convertir en biomasa los nutrientes del suelo, de la atmósfera y el agua, en esos experimentos existen numerosos elementos comunes.

En el estudio de los abresurcos, de las sembradoras y de las sembradoras de precisión para labranza cero, los diseños de los investigadores se han dirigido no solo a los resultados sobre el crecimiento de las plantas usan-

do procedimientos experimentales conocidos, sino que se han dirigido también a su comportamiento mecánico y, tal vez más importante, a las interacciones entre infinitas variaciones de los diseños de los componentes de las máquinas y el suelo, los residuos superficiales, las plagas y las plantas.

Aquí se describen algunos de los procedimientos y técnicas experimentales usadas por los autores y sus colegas para investigar sobre las funciones y comportamiento de los componentes de labranza cero y el subsiguiente desarrollo tecnológico, diseños y prácticas de nuevos equipos para labranza cero. Muchas de las técnicas desarrolladas son específicas para labranza cero y deberían ser útiles para investigaciones similares. Algunos experimentos fueron exclusivos mientras que otros siguieron procedimientos comunes ya establecidos.

No se intenta presentar una revisión completa de todas las técnicas usadas en este campo si bien los resultados de muchos trabajos importantes de numerosos investigadores se encuentran en este capítulo. Las descripciones técnicas y los instrumentos presentados se limitan a aquellos usados o diseñados por los autores. Se explican en algún detalle los experimentos realizados ya que fueron diseñados para buscar respuestas a una serie de problemas acerca de la interacción de las plantas y el suelo con las máquinas para labranza

cero y porque en ese momento no había otras metodologías para satisfacer esos objetivos.

Las técnicas y procedimientos descritos hicieron referencia a los siguientes temas:

1. Respuesta de las plantas a los abresurcos para labranza cero en condiciones controladas.
2. El microambiente de las semillas dentro y alrededor de las ranuras en la labranza cero.
3. La compactación y el disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero.
4. Localización de las semillas en el suelo.
5. Recorrido de las semillas dentro de los tubos de los abresurcos para labranza cero.
6. Arrastre de los abresurcos de discos.
7. Pruebas de desgaste acelerado de los abresurcos para labranza cero.
8. Efectos de la colocación del fertilizantes en bandas.
9. Prototipos de sembradoras y manejo de estrategias.

Respuesta de las plantas a los abresurcos para labranza cero en condiciones controladas

A menudo se supone que la mayoría de las semillas germinan y crecen satisfactoriamente si se siembran en un suelo húmedo seguido por condiciones climáticas favorables. Lamentablemente, bajo labranza cero, esta suposición no es siempre correcta. Las primeras experiencias con labranza cero sugirieron que, a medida que las condiciones climáticas se volvían menos favorables, el comportamiento de las semillas, de las plántulas y de las plantas a menudo sufría más que cuando las semillas se sembraban en suelo labrado.

Por lo tanto, fue importante desarrollar un procedimiento básico para evaluar el comportamiento biológico de los diferentes abresurcos para labranza cero bajo condiciones controladas. El objetivo fue crear una situación en la cual los investigadores pudieran enfati-

zar el sistema de labranza cero imponiendo condiciones desfavorables de humedad del suelo seguidas por condiciones climáticas desfavorables, sin el riesgo de un clima impredecible.

La siembra de las semillas en el campo fue considerada poco práctica e imprecisa para controlar la humedad del suelo y el clima. Los refugios convencionales contra la lluvia, hechos de grandes telas móviles transparentes que cubren varias parcelas, eran demasiado costosos y podrían haber limitado los experimentos a un solo lugar. Esto contrastaba con los experimentos de labranza donde el suelo debajo de un refugio puede ser labrado varias veces para repetir varios experimentos en el mismo lugar.

Los investigadores tampoco pudieron colocar las semillas en el lugar correcto en suelos disturbados que habían sido preparados en macetas o bandejas para ser trasladados posteriormente a los invernaderos o a laboratorios con clima controlado. Para los experimentos de labranza cero los suelos tenían que haber estado realmente indisturbados por lo menos durante 12 meses, o preferiblemente más, y permanecer en esta forma a lo largo de todos los experimentos.

Se desarrolló una nueva técnica para transportar suelo sin labrar en recipientes a un lugar cubierto controlado climáticamente. Esto involucró el movimiento de grandes bloques de suelo de 2,0 m × 0,7 m × 0,2 m, que pesaban aproximadamente 500 kg, desde el campo, sin disturbar, sembrar con abresurcos ordenados para duplicar sus funciones en una sembradora de campo o en una sembradora de precisión y controlar el clima y el contenido de humedad después de la siembra durante toda la duración del experimento (Baker, 1969a, 1976a,b).

Para ese transporte se contruyeron recipientes de acero con ambos extremos abiertos. En uno de esos extremos se colocó una cuchilla circular para cortar el suelo, todo lo cual era tirado por un tractor (Lámina 120). La hoja



Lámina 120 Una cuchilla circular para cortar suelo unida a un recipiente para extraer bloques de suelo sin disturbar (de Baker, 1969a).

horizontal de la cuchilla para cortar el suelo era hueca con lugares de salida del material a lo largo de su borde trasero. Se bombeaba agua en la hoja hueca durante la extracción de los bloques de suelo de 500 kg para crear una pasta fina en la parte de abajo de cada bloque y temporalmente lubricarlo para hacerlo resbalar hacia el recipiente de dos metros de largo. La base de cada recipiente fue forrada con una lámina de acero inoxidable para favorecer este proceso de extracción.

En la práctica se encontró que 2 m era la longitud máxima de la capa de suelo sin disturbar de 200 mm de espesor que podía ser extraída sin ser comprimida y tal vez sin romperse. Una profundidad mayor de 200 mm podría haber permitido la extracción de bloques mayores pero los recipientes hubieran sido difíciles de manejar en razón de su mayor peso y tamaño.

Si bien una profundidad de suelo de 200 mm podría no ser capaz de sostener el crecimiento de las plantas por un largo período antes que las raíces alcanzaran la base de acero

inoxidable, todos los estudios que utilizaron estos recipientes se concentraron en las fases de la germinación y de la emergencia de las plántulas del cultivo, ya que fueron consideradas las más críticas para causar dificultades en la labranza cero. También se consideró que la influencia de las máquinas en el crecimiento de las plantas era muy probable que fuera mayor en las fases de germinación y emergencia de las plántulas, después de lo cual podrían ser de menor influencia que otros factores como el clima, el suelo y el efecto del manejo.

El suelo permaneció dentro del recipiente durante cada experimento. Los recipientes fueron transportados desde el campo al laboratorio usando equipo de levantamiento pesado en un tractor (Lámina 121). El contenido de humedad del suelo en cada recipiente fue manejado cubriéndolo con un plástico transparente y dejándolo secar al aire o irrigándolo desde arriba con un irrigador o desde abajo colocando los recipientes perforados sobre canaletas que contenían una cantidad predefinida de agua.



Lámina 121 Transporte de un recipiente con suelo.

Se utilizaron dos procesos para sembrar esos bloques de suelo sin disturbar con distintos abresurcos para labranza cero. Cuando se debían hacer mediciones de los procesos de siembra o se debían probar los abresurcos múltiples en cada recipiente, se adosaron cinco recipientes en una cama levantada de un «recipiente para labranza» con un elemento para llevar herramientas en una plataforma superior que pasaba sobre la línea de recipientes y podía pasar hacia atrás o hacia delante a una infinidad variable de velocidades (de 0 a 8 km/h) (Lámina 122).

La siembra se llevó a cabo en el interior del local y los abresurcos en prueba por lo general se ordenaron espaciados a 150 mm con tres surcos en cada recipiente. Esto dio lugar a 200 mm de distancia entre los surcos exteriores y los bordes de los recipientes. La distancia ligeramente mayor en esta zona fue para evitar el disturbio del suelo en los bordes. Todos los abresurcos fueron montados en brazos de arrastre paralelos unidos a un segundo bastidor. El ángulo vertical fue variable para

alterar el alcance vertical del abresurco para cualquier ordenación geométrica. Se agregaron fuerzas de penetración por medio de pesas a los abresurcos individuales y las fuerzas de arrastre fueron medidas por una célula de carga montada dentro del brazo de arrastre unido al segundo bastidor.

El montaje de los abresurcos se hizo en brazos paralelos y se aplicó la fuerza de penetración por medio de pesas, lo que no fue una duplicación común de la práctica de campo. Las pesas aseguraron que la fuerza de penetración aplicada a cualquier abresurcos permaneciera constante sin considerar su posición en el plano vertical. Pero el objetivo era remover diferencias de las funciones dependientes entre los abresurcos y sus formas de operación para evaluar las diferencias asociadas con su trabajo en el suelo y la forma de las ranuras que estaban creando.

Las semillas individuales fueron colocadas por una sembradora al vacío modificada diseñada por Copp (1961). Dado que la siembra fue por lo general hecha a bajas velocidades,

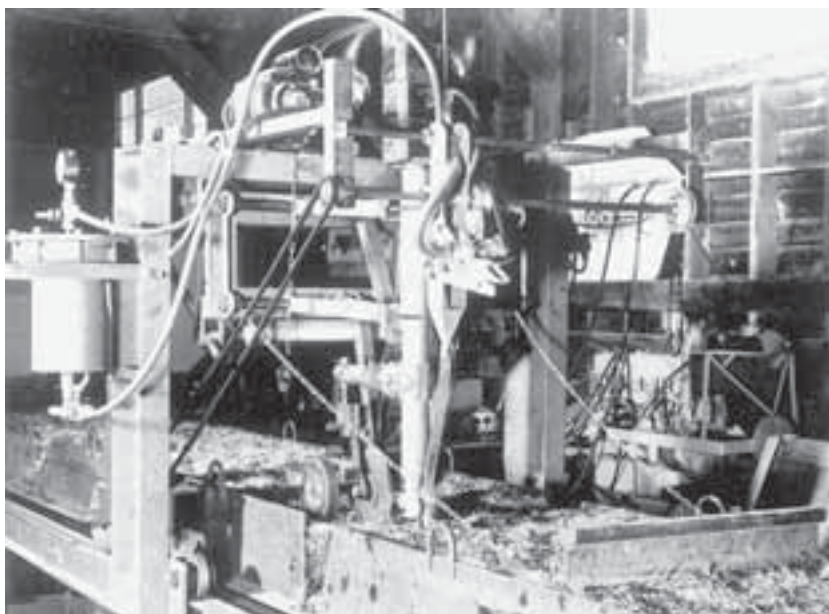


Lámina 122 El «recipiente de labranza» con recipientes de suelo adosados uno a otro y listos para la siembra (de Baker, 1969a).

se hizo un recuento visual de las semillas que entraban en el suelo, observándolas a medida que pasaban por un tubo de plástico transparente. De esta manera, se conoció el número exacto de semillas sembradas para un recuento preciso de su germinación. Dado que el «recipiente de labranza» estaba colocado a una cierta altura del piso, permitió instalar instrumentos desde la parte inferior o detrás del suelo para controlar variables como las fuerzas del suelo verticales y/o laterales resultantes del pasaje de los abresurcos individuales.

En algunos casos fue necesario probar la operación de los abresurcos en la siembra real en el campo. En este caso, la parte final abierta de los recipientes de acero fue empotrada en el suelo, tirada con un tractor y con el cortador de suelo. Después de ello, se pasó un sembrador mientras estaban *in situ* pero evitando el contacto con las paredes de acero de los recipientes. Los recipientes con suelo fueron entonces trasladados a un ambiente con el clima controlado.

El «recipiente de labranza» permitió una medición precisa de cómo diferentes formas de abresurcos y ranuras para labranza cero responden a las distintas condiciones del suelo en lo que se refiere a su capacidad para promover satisfactoriamente la germinación de las semillas y la emergencia de las plántulas. Casi todos los experimentos previos de labranza cero habían usado condiciones de campo que resultaban en un establecimiento exitoso, pero estos resultados pueden haber sido función de condiciones favorables del comportamiento mecánico. Mientras que los experimentos de campo sirvieron para demostrar que la siembra bajo labranza cero podía funcionar, era sin embargo necesario identificar y eliminar las causas de los fracasos. Esto requería un control exacto de las condiciones de siembra.

El «recipiente de labranza», en razón de su plataforma móvil, también fue usado para una variedad de experimentos relacionados con el tema. Entre estos se encuentra un estudio de

disipación de las gotas de una aspersión sobre una pastura (Collins, 1970; ver Capítulo 12), el control del espaciamiento de siembra de las sembradoras de precisión (Ritchie y Cox, 1981; Ritchie, 1982; Carter, 1986; ver Capítulo 8) y el trasplante de plántulas de repollo en suelo sin labrar (Pellow, 1992).

El microambiente de las semillas dentro y alrededor de las ranuras en la labranza cero

Para aprender sobre los requerimientos ambientales de las semillas y las plántulas dentro de la ranura y a fin de definir los efectos de los diseños de los abresurcos en las ranuras, se probaron las siguientes variables: i) régimen de humedad del suelo; ii) humedad del suelo-aire; iii) oxígeno del suelo, y iv) temperatura del suelo, en todos los casos dentro de la ranura.

En estos experimentos no se intentó hacer el seguimiento de la presencia de sustancias alelopáticas de los residuos en descomposición o de otras raíces presentes en la ranura, dado que el tema había sido investigado por otros autores (Lynch, 1977, 1978; Lynch *et al.*, 1980). Sin embargo, experimentos posteriores en suelos húmedos hechos por los autores y sus colegas agregaron nuevos conocimientos acerca de los efectos y de cómo podrían ser evitados por medio del diseño de los abresurcos (ver Capítulo 7).

Régimen de humedad del suelo dentro de la ranura

La mayoría de los aparatos no destructivos de la estructura para medir el contenido de agua líquida en las ranuras muestrean volúmenes razonablemente grandes de suelo. Esto es necesario para promediar las variaciones inherentes en volúmenes de suelo relativamente pequeños. La zona de las ranuras que deja el abresurcos para labranza cero representa un volumen relativamente pequeño de suelo, lo

que hace que la supervisión de la fase líquida de la humedad sea particularmente difícil.

Los aparatos basados en bloques de yeso y otros aparatos basados en la absorción trabajan mejor en el extremo del rango de condiciones húmedas y de baja tensión, lo cual los hace inadecuados para experimentar en los suelos secos. Se ensayaron los primeros diseños de sicrómetros para el punto de rocío pero los gradientes de temperatura muy pronunciados en o cerca de la superficie no ofrecían resultados seguros. Eventualmente se recurrió al muestreo gravimétrico destructivo en el cual cilindros de suelo en miniatura (20 mm de diámetro \times 10 mm de largo) se extrajeron de la zona de las ranuras y se secaron en estufa para proporcionar una medida de la fase líquida del contenido de humedad del suelo sobre la base de la diferencia de peso. Después que se realizaron estos experimentos se han fabricado otros equipos más desarrollados.

La investigación ha mostrado que la fase líquida del contenido de agua del suelo en y alrededor de las distintas formas de ranuras no presentaba mayores diferencias, por lo menos a corto plazo, aun cuando había marcadas diferencias en la emergencia de las plántulas en suelos relativamente secos. Si bien al principio esta pareció ser una situación anómala, se consideró que una investigación exhaustiva de otros aparatos alternativos para medir la fase líquida de la humedad del suelo no se justificaba. En todo caso, la atención cambió a la medición de la humedad de la ranura o a la fase de vapor del agua del suelo.

Humedad del suelo-aire dentro de la ranura

La física del suelo muestra que la atmósfera (aire) en los macroporos y huecos del suelo está en equilibrio con la presión de vapor del agua líquida contenida en los poros del suelo que la rodea. A una temperatura dada la fase de vapor en esos espacios representa la humedad del suelo-aire. Desde el momento que

la temperatura del suelo a la profundidad de siembra no cambia rápidamente y es fácilmente medida, la humedad del suelo se ha considerado una forma confiable de medir la presión de vapor de agua de la atmósfera del suelo.

Choudhary (1979) fue el primero que controló la humedad del suelo-aire dentro de las ranuras para labranza cero usando un aspirador para retirar lentamente aire de la ranura y pasarlo a un higrómetro de punto de rocío para una lectura directa de la humedad relativa de la muestra. Si bien este método proporcionó resultados interesantes, los investigadores eran concientes de que la remoción del aire de la ranura resultaba inevitablemente en su reemplazo con aire tomado predominantemente de la atmósfera encima de la superficie del suelo. De esta manera, las muestras de aire de las ranuras reflejaban solo parcialmente el contenido de humedad dentro de la ranura.

La precisión del método descansaba en la tasa de remoción del aire de la ranura y la resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura que controlaba la tasa de aire atmosférico reemplazado que era removido. Por ejemplo, una alta resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura podría dar lugar a que la muestra de aire removida de la ranura fuera reemplazada por aire de un punto más distante de la ranura; por otro lado, una baja resistencia a la difusión podría contener una mayor proporción de aire atmosférico. Más adelante, esta resistencia a la difusión fue identificada como una variable importante en la sobrevivencia de las semillas y de las plántulas pero, además, también se encontró un método que muestreaba la humedad relativa *in situ* sin remover el aire de la ranura.

Para la lectura directa de la humedad se insertó una sonda modificada en la ranura hasta que estuviera en equilibrio con la atmósfera sin disturbar de la ranura, por lo menos durante 2 minutos. La sonda seleccionada había sido diseñada originariamente para controlar la humedad relativa entre las hojas de papel

para periódicos y, como tal, era de forma plana y fina. Se removió su punta y en la misma se envolvió un filtro de fibra de vidrio a fin de prevenir que el suelo cayera dentro de la parte de la sensitiva de la sonda. La Lámina 123 muestra una sonda de humedad que se inserta en un suelo seco no labrado, que está colocado en una cámara con clima controlado. El filtro queda en el suelo cuando se retira la sonda y no es reutilizado.

Este método proporcionó una lectura directa de la humedad relativa, cercana a la que tenían las semillas dentro de la ranura. La información recogida con esta técnica tuvo repercusiones a largo plazo. Los experimentos mostraron que las semillas en el sistema de labranza cero podían germinar en una atmósfera con alto contenido de humedad dentro de la ranura, sin necesidad de acceder a cantidades importantes de agua en fase líquida, un hecho que fue confirmado posteriormente por Martin y Thrailkill (1993) y Wuest (2002).

Más importante aun es haber determinado que las plántulas debajo de la superficie podían sobrevivir debajo del suelo por varias semanas con un 100 por ciento de humedad relativa, o cerca de ese valor. Se demostró que la última observación era una función de la resistencia a la difusión de la cobertura de la ranura y el gradiente de humedad entre el aire de la ranura y el ambiente fuera de la misma. La cobertura de la ranura era una función de su forma, de la presencia de residuos en la superficie sobre la ranura y del diseño del abresurcos.

El hecho de supervisar la atmósfera de la ranura era importante pero la capacidad de controlar y variar esa humedad para los objetivos de la investigación es algo diferente. Las cubiertas para la protección contra la lluvia no fueron satisfactorias dado que fueron incapaces de alterar la humedad del ambiente durante el día. Utilizando una multisala con clima controlado, los bloques de 500 kg de suelo en los recipientes de acero fueron



Lámina 123 Muestreo de la humedad del suelo en el campo.

transportados en grupos de tres a las salas de clima controlado después de la siembra. Cada sala tenía un clima artificial en el cual podían ser controlados la temperatura, la humedad, la intensidad de la luz, el espectro lumínico, la duración de las horas de luz del día, los nutrientes y, si era necesario, la dirección y velocidad del viento. De esta manera, fueron variados los efectos de los altos y bajos niveles de humedad ambiental y/o las temperaturas y se midieron los efectos sobre el establecimiento de las plántulas (ver Capítulo 6).

Oxígeno del suelo dentro y alrededor de la ranura

La principal consecuencia de que un suelo con labranza cero se vuelva muy húmedo después de la siembra es la restricción del abastecimiento de oxígeno a las semillas en germinación y a las raíces embrionales. Un suelo labrado es aflojado artificialmente, lo cual en algún momento exagera la actividad del oxígeno alrededor de las semillas. En un suelo sin labrar las semillas dependen casi exclusivamen-

te de la capacidad del suelo para permanecer adecuadamente oxigenadas en su estado natural. Para probar varios diseños de abresurcos y su capacidad para proporcionar distintas condiciones de oxígeno con condiciones de suelo húmedo, se consideraron las variables de la tasa de difusión del oxígeno, las lombrices de tierra y las temperaturas del suelo.

Varios investigadores han descrito una técnica para medir la difusión del oxígeno consistente en empujar un pequeño electrodo de platino en el suelo y medir la corriente que pasa entre ese electrodo y un electrodo de referencia. La corriente tiene el efecto de reducir el material electro-reducible, en este caso el oxígeno, en la superficie del platino. La cantidad de corriente es gobernada por la tasa de difusión de oxígeno desde dentro del suelo a la superficie del electrodo y de esta manera da una indicación de la tasa de difusión de oxígeno dentro del suelo.

La mayoría de los investigadores concuerdan con que los valores de la tasa de difusión de oxígeno obtenidos con los electrodos de

platino son solamente una aproximación de lo que podría suceder a una raíz; sin embargo, esta técnica proporciona una medida relativa de la diferencia entre las distintas condiciones del suelo. Las ventajas de esta técnica son su economía, no es destructiva, es rápida, simple y capaz de muestrear zonas muy pequeñas de suelo cerca de la ranura.

Chaudhry (1985) muestreó la tasa de difusión de oxígeno en un modelo de rejilla alrededor del área basal de diferentes ranuras en un suelo húmedo; usó un programa de ordenador para trazar líneas de isotasas de difusión de oxígeno que reflejaron los distintos regímenes de oxígeno generados por el pasaje de los abresurcos para labranza cero y por la presencia o ausencia de residuos superficiales y de lombrices de tierra (ver Capítulo 7).

La actividad de las lombrices de tierra fue probablemente un contribuyente importante al oxígeno del suelo dentro de la ranura. Mai (1978), Chaudhry (1985) y Giles (1994) controlaron el número de lombrices de tierra presentes en la parcela general del suelo y en aquellas alrededor de la ranura de las semillas. Se extrajeron núcleos cilíndricos de suelo de las ranuras y se contó y pesó el número de lombrices. Chaudhry también controló la actividad de las lombrices en la superficie del suelo estimando el porcentaje en una cierta área cubierta con sus deyecciones, conocido como «índice de deyecciones».

La infiltración del agua en la zona de las raíces fue otro factor potencial para el intercambio de oxígeno. Las tasas relativas de infiltración fueron controladas por medio de cajas de metal («infiltrómetros») insertados en la superficie del suelo y centradas sobre las ranuras (Chaudhry, 1985; Baker *et al.*, 1987).

Comparaciones exhaustivas sobre la temperatura fueron hechas por Baker (1976a) en varias configuraciones de parcelas. La temperatura es relativamente fácil de medir en zonas limitadas usando termómetros en miniatura o termocuplas electrónicas. Las lecturas rápidas fueron hechas con termómetros de

mercurio mientras que las termocuplas fueron usadas para lecturas continuas como las fluctuaciones ambientales diurnas.

Compactación y disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero

Durante largo tiempo se pensó que un resultado lógico de los abresurcos para labranza cero que operan sobre tierras sin labrar podría haber sido la compactación progresiva y un crecimiento restringido de las raíces en la zona de las ranuras. Por esa razón, varios estudios se centraron en la supervisión de estos aspectos. Los parámetros medidos fueron: i) resistencia del suelo; ii) presión instantánea del suelo (estrés); iii) desplazamiento instantáneo y permanente del suelo; iv) densidad del suelo, y v) alisado.

Resistencia del suelo

La resistencia del suelo es generalmente evaluada midiendo la fuerza necesaria para empujar una sonda («penetrómetro») en el suelo. Para asemejar a la acción de las raíces, el extremo de la sonda es de forma cónica de modo que su fuerza se disipa en forma radial y longitudinal. Tales sondas son, por lo general, diseñadas para muestrear grandes volúmenes de suelo y, en razón de la homogeneidad natural del suelo, la repetición del muestreo con la misma sonda es una operación común.

Para obtener beneficios del sondaje múltiple del suelo dentro de los límites de la zona de ranuras fue diseñado un penetrómetro en miniatura con puntas múltiples (Dixon, 1972; Baker, 1976a; Baker y Mai, 1982b). Este aparato tenía 20 sondas de acero inoxidable de un milímetro de diámetro montadas en una barra horizontal, de tal forma que la posición vertical de cada sonda con respecto a la barra

podía ser ajustada y fijada individualmente. La barra podía ser angulada en cualquier posición deseada, horizontal o vertical, y fue unida a una barra con rosca que actuaba como mecanismo de empuje junto con un aro sensitivo para medir la fuerza (o «aro de prueba»). Se usaron dos aparatos diferentes para medir

el desplazamiento y registrar los cambios de diámetro del aro. Al principio fue suficiente un micrómetro pero en las últimas pruebas fue sustituido por un sensor de presión de desplazamiento para facilitar el registro de los resultados. El penetrómetro de puntas múltiples se encuentra en la Figura 47.

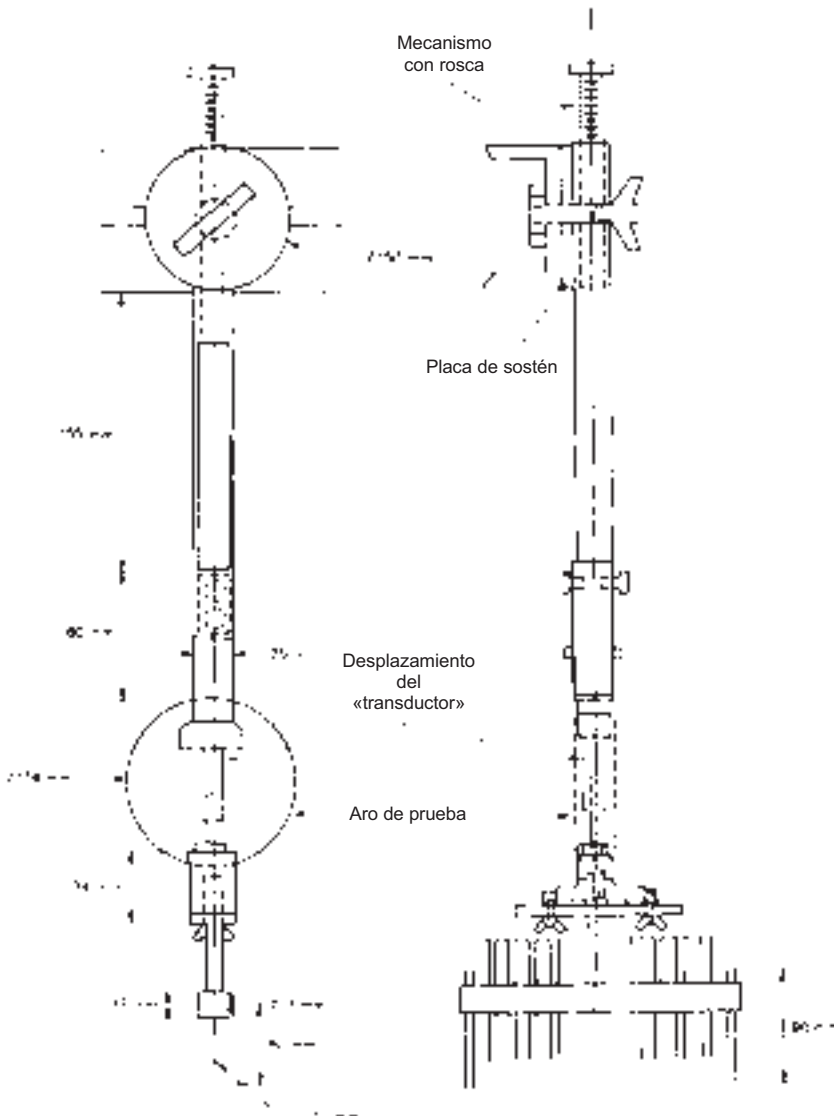


Figura 47 Un penetrómetro con puntas múltiples unido a un «aro de prueba» de un aparato para medir la fuerza (de Baker y Mai, 1982a).

Dado que los suelos, en cierta medida y por varios segundos, tienden a fluir como un cuerpo plástico después que se inserta una sonda rígida, fue necesario insertar las sondas a una velocidad constante y predeterminada y leer la fuerza aplicada a intervalos regulares después que se detuvo la penetración a la profundidad deseada (cuando había cesado el flujo plástico). Las sondas fueron insertadas rotando la barra con rosca a una velocidad constante de penetración, para lo que se usó un motor eléctrico de baja velocidad, desconectado inmediatamente después de alcanzar la profundidad deseada y se esperó 10 segundos antes de leer la escala.

Para ajustar las irregularidades de la superficie del suelo, la barra portasondas fue colocada paralelamente a la superficie elegida y cada sonda fue insertada a través de la barra hasta que hizo un ligero contacto con la superficie del suelo, momento en que fue ajustada a la barra. Fue necesario asegurarse de que hubiera un igual número de sondas en cada lado de la barra con rosca central, que hicieran contacto con el suelo para asegurar, en la medida de lo posible, la simetría de las fuerzas con relación al punto central cuando todas las sondas eran empujadas en el suelo. Incluso en estos casos, una sonda podía ocasionalmente tocar una piedra y distorsionar sensiblemente la simetría; en ese caso la lectura se descartaba.

Usando el recipiente para ensayos de labranza descrito anteriormente, el penetrómetro de puntas múltiples fue insertado desde varias direcciones: i) desde encima de la tierra para probar la resistencia del suelo, verticalmente y hacia abajo en la base de las ranuras (Baker y Mai, 1982b); ii) desde una perpendicular a las paredes de las ranuras (Mai, 1982b); iii) desde debajo del recipiente empujando hacia arriba para medir la resistencia de la cobertura de la ranura a la emergencia de las plántulas (Choudhary, 1979), y iv) perpendicular al corte de la parte final de los recipientes para probar la resistencia del suelo en un modelo de parrilla alrededor de un corte de las ranuras (Mitchell, 1983).

El penetrómetro no pudo ser usado en el campo debido a que su alta sensibilidad requería una base muy estable desde la cual ejercer la fuerza de penetración. En realidad, esta podía ser ofrecida por el recipiente sobre un piso de cemento. Aun así, una persona apoyada en uno de los recipientes podría causar la torcedura del lector del penetrómetro.

Presión instantánea del suelo (estrés)

A medida que el abresurcos pasa a través del suelo se crean presiones para moverlo hacia los lados, con múltiples consecuencias potenciales, desde la compactación hasta el alisado. Estas presiones fueron medidas usando un diafragma de presión especialmente diseñado (Mai, 1978). Un pequeño tubo de bronce de 9,5 mm de diámetro tenía un diafragma de goma en un extremo; en el otro extremo tenía unido un sensor de presión en miniatura. El tubo se llenó con agua para que actuara como un líquido no comprimible y una pequeña válvula de purga para expeler el aire. Estos tubos fueron insertados en agujeros en las paredes y en la base de los recipientes de acero en agujeros ajustados hechos previamente en el suelo para colocar la posición del diafragma de goma en contacto íntimo con el suelo a una distancia preestablecida (cerca de 10 mm) del lugar de paso esperado del abresurco para labranza cero que se deseaba probar.

Dado que cada abresurcos pasaba por un recorrido bien controlado en el recipiente de acero fue posible predeterminar con seguridad la posición lateral de los aparatos para medir la presión del suelo. La profundidad de penetración de cada abresurcos era bastante predecible usando ruedas comunes para medir la tierra en cada abresurcos, ya que la superficie de cada recipiente no terminaba exactamente a la misma distancia de la base del recipiente durante el proceso de extracción en el campo. Por ello, se concedió una mayor flexibilidad a la posición vertical.

Aun así, los tubos llenos de agua fueron usados para proteger los costosos sensores de presión en miniatura en caso de que hubiera contactos mecánicos con el abresurcos en su paso. Los tubos de bronce y sus diafragmas de goma fueron considerados como descartables en el caso de un accidente pero no los costosos sensores. La Figura 48 muestra dicho tubo. De esta manera, los estreses instantáneos y contrastantes del suelo creados por los distintos tipos de abresurcos en un suelo sin labranza fueron supervisados y registrados (Baker y Mai, 1982a).

tes de prueba de labranza (Mai, 1978). Un hilo no elástico liviano fue unido a un extremo de cada sonda y en el otro extremo se colocó un pequeño sensor electrónico de desplazamiento que registraba el desplazamiento horizontal instantáneo del suelo a medida que pasaba el abresurcos y el desplazamiento permanente después de su paso. Los datos sobre el desplazamiento dieron la medida de la dirección en la cual el abresurco desplazaba el suelo así como también de la plasticidad del suelo y de cómo este había respondido a la acción mecánica de ese abresurco en particular.

Desplazamiento instantáneo y permanente del suelo

Este desplazamiento fue medido colocando pequeñas sondas verticales en el suelo a distancias predeterminadas sobre el posible lugar de paso del abresurcos en los recipientes

Densidad del suelo

La densidad del suelo fue medida extrayendo pequeños núcleos de suelo (10 mm × 10 mm) en la zona de las ranuras en un lugar y posición requeridos por el experimento específico (Mai, 1978; Chaudhry, 1985). Los

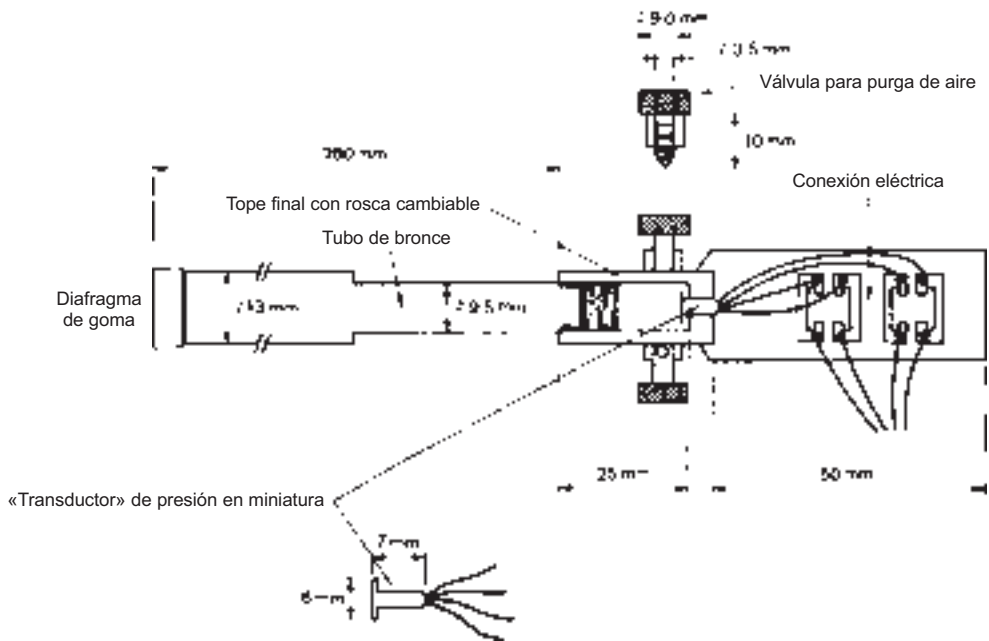


Figura 48 Tubo para medir la presión del suelo (de Baker, 1969a).

núcleos se pesaron y se siguió un procedimiento estándar para calcular la densidad del suelo como peso por unidad de volumen de suelo.

Alisado y compactación

Este parámetro fue difícil de cuantificar con precisión ya que el alisado en particular está limitado a una capa de menos de un milímetro de espesor. De cualquier manera, se determinó que el alisado solo afectaba el crecimiento de las raíces cuando se secaba y encostraba. Otros parámetros ambientales determinan el secado de las ranuras, como se ha descrito anteriormente. Por esta razón, no se desarrolló un método directo para cuantificar el alisado con precisión. Aparentemente, la diferencia entre una capa de alisado y una capa de compactación es solamente una diferencia de espesor.

Localización de las semillas en el suelo

Para el diseño de las sembradoras y las sembradoras de precisión se consideraron tres aspectos importantes de la posición de las semillas en el suelo (Ritchie, 1982): i) espaciamiento a lo largo del surco; ii) profundidad de siembra, y iii) posición lateral en relación a la línea central de la ranura.

Espaciamiento de las semillas

La medición del espaciamiento de las semillas es relativamente simple, por lo menos si no se considera la posibilidad de que las semillas salten en la ranura u otros factores del suelo como los terrones. Una medición precisa se puede hacer por una siembra simulada, la cual se hace moviendo la sembradora sobre una lámina adhesiva de modo que las semillas que caen de la sembradora se fijan inmediatamente a medida que la máquina avanza.

El recipiente para pruebas de labranza y la plataforma descritos anteriormente son ideales para esta función (Ritchie, 1982; Carter, 1986). El espaciamiento de las semillas también puede ser determinado directamente midiendo la distancia entre las plántulas emergidas. Este último método no considera el desplazamiento de los tallos de su posición original (por ej., doblados a causa de terrones o piedras) o la fallas en la germinación de las semillas o en la emergencia de las plántulas.

Profundidad de la siembra de las semillas

La medición de la profundidad de siembra de las semillas es un problema difícil y engañoso. Obviamente, la posición de las semillas en el plano vertical en el suelo solo puede ser determinada después que han sido sembradas, a diferencia del espaciamiento horizontal de las semillas que puede ser simulado sobre una superficie adhesiva y sin que el abresurcos tenga que penetrar en el suelo.

El problema radica en que, cuando el investigador excava el suelo en busca de las semillas, inevitablemente son movidas las otras semillas circundantes. En los últimos años los investigadores han usado uno de los siguientes enfoques:

Excavación manual (Hadfield, 1993; Thompson, 1993)

A pesar de las desventajas de este método, una excavación cuidadosa del suelo, en el campo, para descubrir las semillas es aún el método más común. Este método tiene el problema que es difícil cuantificar y corregir los errores. En los suelos labrados, se observan las semillas desde arriba; en la labranza cero, en el suelo sin disturbar y dada la relativa estabilidad de algunos suelos y ranuras, en algunos casos es posible abrir una ranura paralela y observar las semillas lateralmente, lo cual reduce el riesgo de mover otras.

Muestreo con cuchara

Un núcleo semicilíndrico horizontal de suelo sin disturbar, centrado en una ranura sembrada, se remueve con una cuchara de diseño especial y la muestra se abre en el laboratorio para exponer las semillas a la vista (Baker, 1976a). Esta técnica puede ser usada solamente en suelos sin disturbar porque los suelos labrados son demasiado friables y los núcleos se rompen. Este método es algo más preciso que la excavación manual desde arriba porque se llega lateralmente a las semillas. También es más conveniente que el muestreo de campo hecho lateralmente porque el operador trabaja en su mayor parte en el laboratorio y las muestras pueden ser apoyadas sobre sus lados sobre el banco de trabajo. Esta técnica toma trozos de surco relativamente limitados, los transporta al laboratorio e insume más tiempo que otros métodos. Es más útil para localizar y contar las semillas y las plántulas en una longitud dada de surco que para registrar con precisión sus posiciones en relación con la superficie del suelo.

Seguimiento de las plántulas

Después de la emergencia de las plántulas es posible hacer un seguimiento a partir de las hojas hasta establecer la posición original en el suelo de las semillas sembradas (Stibbe *et al.*, 1980; Pidgeon, 1981; Allam y Weins, 1982; Choudhary *et al.*, 1985). Este procedimiento ha sido mecanizado para registrar automáticamente las mediciones de un número relativamente grande de plántulas. Sin embargo, dado que solamente mide las plántulas emergidas no registra la posición de las semillas que no han emergido. La identificación de las semillas no germinadas en el suelo para los estudios de labranza cero también fue uno de los objetivos más comunes, pero esta técnica ha tenido una aplicación limitada.

Imágenes de las semillas con rayos X

Recubriendo las semillas con óxido rojo de plomo (un repelente de pájaros de uso común)

antes de la siembra pueden ser registradas imágenes de las semillas de muestras de suelo tomadas en el campo en cajas metálicas usando un equipo de rayos X de uso veterinario (Campbell, 1985; Choudhary *et al.*, 1985; Praat, 1988; Campbell y Baker, 1989; D. de Kantzow, 1985, 1993, comunicación personal). Las cajas pueden ser de aluminio o de acero ya que los rayos X pasan esos metales sin dañar la imagen. La técnica no es perjudicial para las semillas (germinan después de la aplicación de los rayos X) e identifica positivamente las semillas debajo del suelo sin disturbarlas. Tampoco es afectada por el tipo de suelo, el contenido de humedad o los niveles de materia orgánica, pero, en general, es más adecuado para semillas grandes y para un número relativamente limitado de muestras porque insume tiempo y es algo costoso.

Los rayos X se derivan de un punto de origen en la máquina que los genera; a medida que los rayos X escrutan una muestra, se crea un error de paralaje en todas las posiciones excepto en aquellas que están exactamente debajo del punto de emisión. Este error de paralaje se acentúa hacia las extremidades de la muestra y afecta la precisión en la cuantificación de las distancias entre las semillas individuales o entre las semillas y la superficie del suelo. Campbell (1985) definió una corrección matemática de este error. También usó una faja de plomo para soldaduras para indicar la posición de la superficie del suelo en los rayos X. La Lámina 124 muestra semillas de arvejas revestidas con óxido de plomo, sometidas a rayos X debajo del suelo, después de la siembra.

Posición lateral de las semillas en relación a la línea central de la ranura

Tal como ocurre con la profundidad de las semillas, la búsqueda manual de la posición lateral de las semillas después que han sido sembradas presenta problemas que surgen de la posibilidad de su desplazamiento involuntario

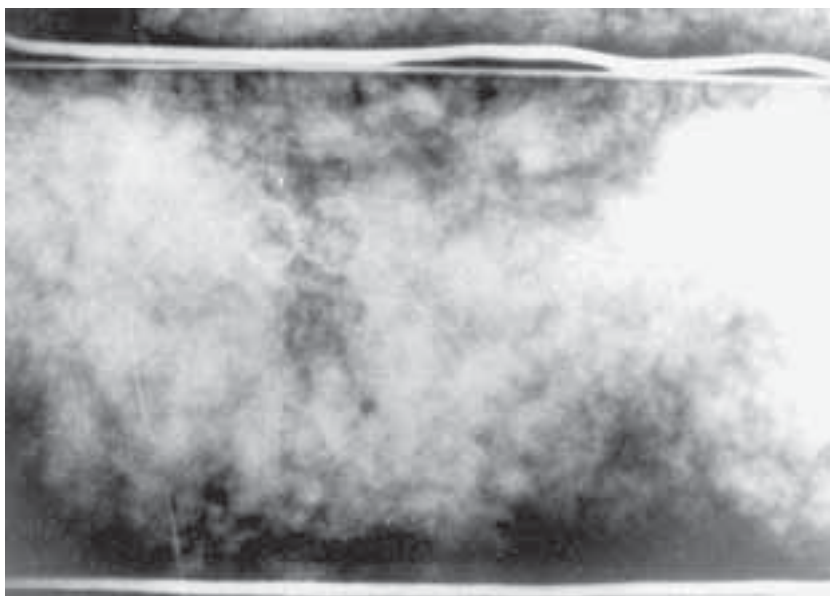


Lámina 124 Semillas de arvejas revestidas con óxido de plomo sometidas a rayos X después de la siembra (de Campbell y Baker, 1989).

antes de poder registrar sus posiciones. En las pocas ocasiones en que se estudió este parámetro se usaron muestreos con cuchara e imágenes de rayos X.

Hasta la fecha no ha sido diseñado un método satisfactorio para identificar positivamente, en forma económica y repetible, la posición final tridimensional de las semillas en el suelo. Tal vez esta sea la razón por la cual la mayoría de los diseñadores de abresurcos y de sembradoras parecen estar satisfechos con definir cuán bien siguen sus abresurcos la superficie del suelo, con la asunción implícita de que la colocación final de las semillas está únicamente relacionada con esta capacidad.

Recorrido de las semillas dentro de los abresurcos para labranza cero

El recorrido que deben hacer las semillas desde y a través de los abresurcos para labran-

za cero es mucho más tortuoso y menos predecible que el de las semillas en abresurcos simples para suelos labrados. Por esta razón, ha sido importante estudiar el recorrido de las semillas y analizar las causas del bloqueo o disrupción del flujo.

Todas las técnicas adoptadas por los autores han involucrado el uso de videocámaras y su visión en cámara lenta. Ritchie (1982) estudió la descarga de las semillas de sembradoras de precisión junto con varios tubos de entrega, para lo que registró las semillas con una videocámara a medida que caían. Calculó el tiempo entre el pasaje de las semillas sucesivas delante de una rejilla y las variaciones potenciales resultantes del espaciamiento horizontal a lo largo del surco. La grabación fue analizada en cada toma frente a una rejilla calibrada sobre la base de la distancia y el tiempo. La Lámina 125 muestra el estudio del momento de la eyeción de la semilla usando la plataforma del recipiente de labranza como fuente del movimiento de la sembradora.

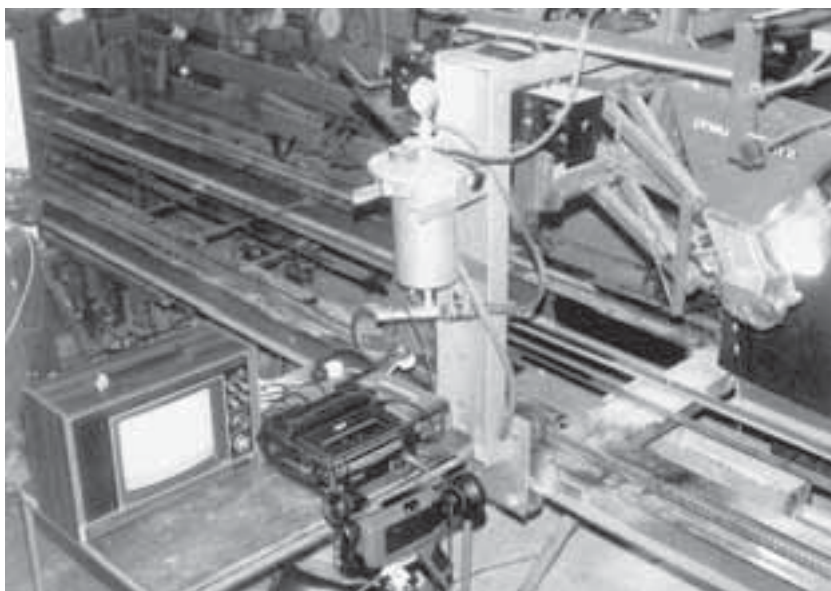


Lámina 125 Filmación de la eyección de semillas de un abresurcos para labranza cero. A la derecha de la lámina se observan cuatro semillas de maíz cayendo desde la sembradora de precisión.

Un estudio de semillas dentro de la versión de disco de un abresurco de ala sustituyó el disco normal de acero por un disco de plexiglás para poder observar el paso de las semillas a través del disco transparente. Este abresurcos es bastante particular ya que la mayor parte del recorrido interno de las semillas ocurre en un tubo de tres lados cercano a un disco giratorio. La rotación del disco forma una pared en este tubo de entrega y se mueve continuamente. Los investigadores deseaban estudiar la influencia de esta pared móvil y la forma geométrica de las paredes fijas sobre la caída y eyección de las semillas desde el abresurcos. La Lámina 126 muestra el flujo de las semillas en ese abresurcos.

Hasta ahora no se ha encontrado una técnica satisfactoria para observar las semillas a medida que salen del abresurcos debajo del suelo, si bien el conocimiento de ese proceso podría contribuir en forma importante a diseñar abresurcos con una mejor eyección de las

semillas y control de la profundidad de siembra. La aparición de endoscopios y laparoscopios ofrece una posibilidad atractiva si bien el polvo en la lente durante la operación debajo del suelo parece ser inevitable y, por ejemplo, su remoción con un chorro de aire podría interferir con el mismo proceso de eyección de las semillas. De cualquier manera, existe el potencial para hacer diseños innovadores para satisfacer este objetivo.

Arrastre en un abresurco de disco

La versión de disco de los abresurcos de ala opera basada en el principio de un disco central vertical con varios componentes que rozan a este, lo que crea un efecto de arrastre sobre el disco y opone resistencia a su rotación. El contacto del disco y algunos de esos componentes, por ejemplo, con las hojas a la

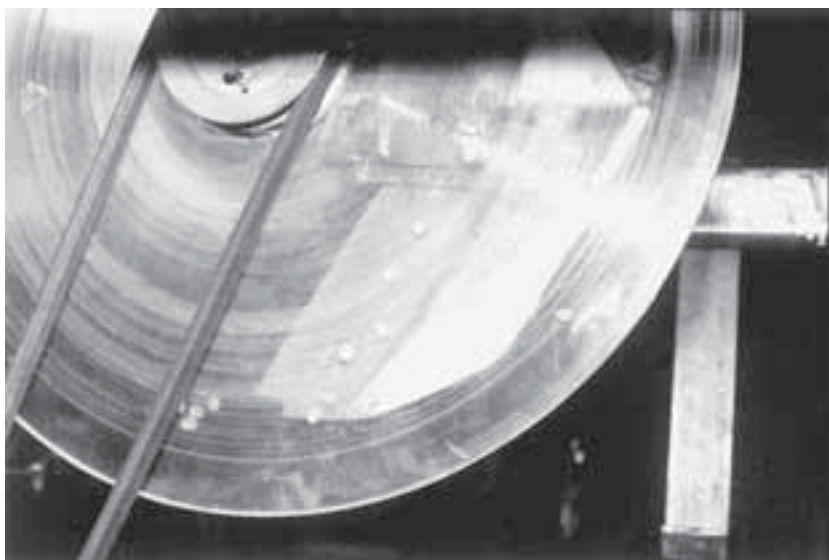


Lámina 126 Flujo de semillas observado a través de un disco transparente de plexiglás.

izquierda y a la derecha con funciones de raspadores, es fundamental para las funciones de manejo de residuos y para la colocación de las semillas por el abresurcos. De esta manera hay una continua e ininterrumpida rotación del disco. Esto también es importante para poder cuantificar la magnitud de las distintas fuerzas de arrastre y torsión que se oponen a la rotación continua del disco, que son innecesarias y podrían ser eliminadas y aquellas que son útiles y podrían ser minimizadas.

El método adoptado consistió en el diseño de un banco especial de prueba en el cual un solo abresurco fue montado de tal manera que permitía que cada uno de los componentes que contribuían al arrastre de torsión fuera unido individualmente y pudiera ser removido sin afectar la función del abresurco (Javed, 1992). El banco de prueba con el abresurco unido fue tirado a través de varios suelos a una velocidad constante y conocida. El disco tenía un freno de disco de motocicleta modificado que podía detenerlo de modo que resbalara totalmente en el suelo. La fuerza requerida para llegar a cualquier grado intermedio y

predeterminado de frenado del disco fue registrado por un sensor electrónico de fuerza montado entre el freno de disco y el bastidor del banco de prueba. La velocidad del disco, en revoluciones por minuto, fue indicada por un taquímetro y fue directamente proporcional al deslizamiento hacia adelante del disco en el suelo a cualquier velocidad. La Lámina 127 muestra el banco de prueba de arrastre del disco y el abresurco.

El disco libre, o sea, sin ningún componente de arrastre de torsión, fue primeramente frenado a una velocidad predeterminada que representa una cierta medida de resbalado del disco en el suelo. Después, cada uno de los componentes que se suponía que agregaban torsión de arrastre fue unido individualmente al abresurcos y se midió la fuerza residual de frenado necesaria para obtener el mismo resbalado del disco. La diferencia entre esta y la lectura original representó la torsión de arrastre del disco que se podía atribuir al componente agregado. La variabilidad del suelo que originó las fuerzas de tracción del disco requirió que se hiciera un gran número

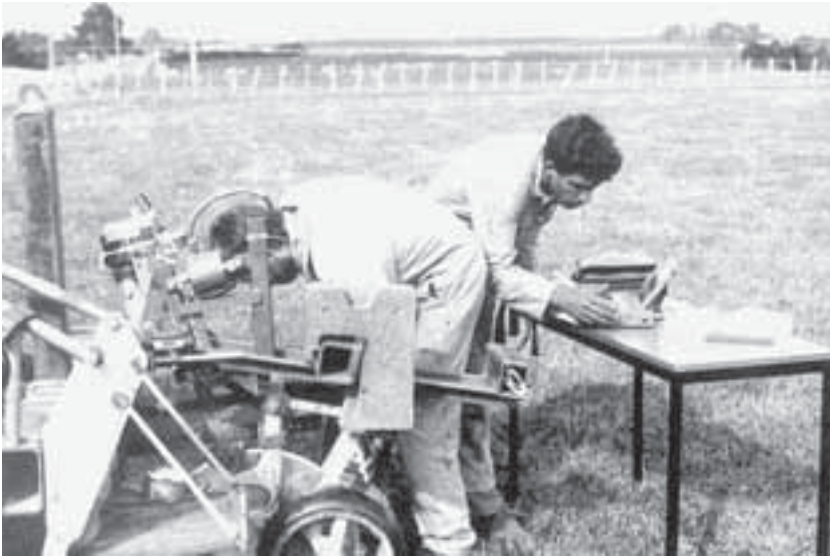


Lámina 127 Banco de prueba para registrar el arrastre del disco de un abresurco para labranza cero.

de observaciones a fin tener suficiente precisión en los resultados. Estas pruebas fueron hechas usando un recolector electrónico de datos de alta velocidad que registró cerca de 10 000 lecturas por prueba.

Pruebas aceleradas de desgaste de abresurcos para labranza cero

La versión de disco del abresurco de ala fue bastante diferente de otros abresurcos de sembradoras, tanto en suelos labrados como en labranza cero. En realidad había conocimientos limitados acerca del desgaste de los componentes esenciales, si bien Badger (1979) había estudiado aspectos del desgaste en abresurcos de ala simples. Los dos puntos más importantes de desgaste de este abresurcos fueron considerados el desgaste metal-suelo en el exterior de las láminas laterales y sus alas y el desgaste metal-metal entre esas láminas laterales y el disco rotatorio.

Sin duda, no había sido determinado aún si las hojas laterales realmente rozaban sobre el disco (contacto metal-metal) o eran ligeramente separadas del mismo por una fina capa de suelo que pasara entre los dos componentes; en ese caso se trataría de un contacto metal-suelo-metal. El problema de un posible contacto entre los lados de las láminas y el disco era importante porque, si no había contacto directo, esto permitiría que las láminas fueran fabricadas de un material considerablemente más resistente al desgaste. Si hubiera habido contacto directo, los lados duros de las láminas podían haber erosionado los discos, lo cual hubiera sido inaceptable.

Se desarrolló una nueva técnica para examinar ambos problemas (Brown, 1982; Brown y Baker, 1985). Un abresurcos simple fue armado de tal manera que aislara eléctricamente las láminas laterales del disco; este fue operado en el suelo con contactos conectados al disco y a las láminas laterales por medio de una batería de 12 voltios para completar el circuito cuando hacían contacto y eran registrados por un

medidor o la resistencia de una lámpara. En los suelos ensayados una película fina de suelo aisló continuamente las láminas del disco. Otras experiencias siguientes en el campo confirmaron que la dureza de las láminas no tenía efecto sobre la duración y la integridad de la cara del disco y que los tipos de abrasión en el disco y en el interior de las láminas eran consistentes con el desgaste metal-suelo-metal.

En cualquier caso, la película fina de suelo desgasta ambos componentes en esta interfase. Para acelerar las pruebas de desgaste y buscar estrategias alternativas para prolongar la vida de las láminas laterales fue desarrollada otra técnica. El abresurcos fue modificado de modo que el eje del disco podía recibir la fuerza de un motor que causaba su rotación cuando el abresurcos estaba detenido. El abresurcos modificado fue armado de modo que la base del disco y las láminas quedaran inmersas en una caja abierta de suelo desmenuzado (en un caso en forma pastosa) a la profundidad normal de siembra. Las láminas laterales se sujetaron contra el disco por medio de elásticos para simular

las fuerzas recibidas en el campo cuando el abresurcos avanzaba. El banco de pruebas se dejó funcionando continuamente por largos períodos para registrar el modelo de desgaste en la interfase entre las láminas y el disco. La Lámina 128 muestra la caja de desgaste acelerado y el abresurcos en prueba.

Cuando se estudiaron modelos de desgaste normal en el campo en la parte exterior de las láminas y las alas (desgaste suelo-metal) no hubo ningún sustituto para la siembra continua en el campo. Por definición, los abresurcos debieron trabajar continuamente en suelo sin disturbar; por lo tanto, la repetición de la resiembra en la misma área no era una opción posible. En una prueba, se construyó una sembradora de un surco y se sembraron 16 hectáreas de tierra sin disturbar en surcos simples. El abresurcos recorrió cerca de 500 km, cubrió 225 hectáreas de siembra continua con una sembradora de 4,5 m de ancho. El desgaste de los distintos tratamientos de las láminas fue medido en sus dimensiones y por la pérdida de peso (Brown, 1982; Brown y Baker, 1985).



Lámina 128 Una caja de desgaste acelerado para probar abresurcos para labranza cero.

Efectos de la colocación del fertilizante en bandas dentro de la ranura

Se realizaron varios experimentos para determinar la posición más apropiada para la colocación del fertilizante separado de las semillas. Además de las técnicas de experimentación de campo más comunes, que no se describen en detalle aquí, se desarrollaron varias unidades experimentales.

La dirección de separación horizontal, vertical y diagonal entre el fertilizante y las semillas fue comparada usando abresurcos de ala en la versión de disco, modificada con combinaciones disco-lámina como sigue:

1. Láminas laterales colocadas en lados opuestos del disco y a igual distancia (separación horizontal).
2. Láminas laterales colocadas en lados opuestos del disco pero la lámina del fertilizante fue 20 mm más larga (separación diagonal).
3. La lámina de un lado fue extendida por debajo del disco para crear una banda profunda debajo y a un lado de las semillas (bandas anchas).
4. Una lámina corta y una lámina larga fueron colocadas en el mismo lado del disco (separación vertical).

El rendimiento de los cultivos y el daño de las semillas fueron comparados con los ensayos de campo de esas combinaciones. La opción horizontal produjo mejores rendimientos, en todos los aspectos, que las opciones vertical o diagonal (ver Capítulo 9). Esto, en cierto modo, fue una ventaja, porque hubiera sido difícil implementar la opción vertical a escala de campo dado que la colocación de las dos láminas en un lado del disco podría haber sido difícil para otros propósitos que no fueran experimentales. La Lámina 59 muestra la colocación vertical del abresurcos en un caso experimental.

Sorprendentemente, la opción diagonal extendida no pareció interferir con la capacidad del abresurcos para manejar residuos superficiales, pero causó un modelo indeseable de desgaste en los bordes interiores de las láminas porque cada lámina hacía contacto con el disco en la zona de su ranura, por lo menos durante la mitad del tiempo y el contacto fue continuo por encima de esas ranuras. Las láminas más largas también produjeron un incremento de la torsión de arrastre en el disco dada la extensa zona de contacto entre ambos. Dado que no había un beneficio en favor de la propuesta más larga y más complicada de las láminas fertilizantes, la opción no tuvo seguimiento.

Afzal (1981) comparó la colocación vertical con la colocación horizontal del fertilizante en relación con las semillas sin usar un abresurcos, extrajo pequeños bloques de suelo sin disturbar del campo y los colocó en macetas y cajas. Para la colocación vertical, hizo pequeños huecos verticales cilíndricos en el suelo, colocó una cantidad pesada previamente de fertilizante en la base del hueco y encima reemplazó una cantidad conocida de suelo suelto apisonado.

Para la separación horizontal repitió el proceso anterior pero hizo el hueco vertical solo a la profundidad de siembra y cubrió las semillas con un tapón de suelo sin disturbar. A continuación hizo un hueco horizontal desde el lado de la maceta o caja para colocar el fertilizante a una distancia predeterminada y a la misma profundidad de la semilla. Este hueco también fue cerrado con un tapón de suelo sin disturbar, pero en este caso sin residuos superficiales.

Prototipos de sembradoras y estrategias de manejo

Una parte del desarrollo lógico de una nueva tecnología de campo con nuevos hallazgos de laboratorio es que deben ser eventualmente

probados a escala de campo. En el caso de las sembradoras y las sembradoras de precisión esto se realiza parcialmente usando pequeñas máquinas experimentales. Por ejemplo, una de las funciones más importantes de las sembradoras para labranza cero es la capacidad para manejar los residuos superficiales. Una máquina experimental de un solo surco podría sugerir cuán bien un abresurcos podría cumplir esta función, pero solo una máquina con múltiples abresurcos podría experimentar las interacciones de los abresurcos contiguos en el campo, con una cantidad variable de residuos y distintas configuraciones. O sea, es importante observar el comportamiento del abresurcos y la sembradora a escala de campo junto con el seguimiento del componente del desgaste y la durabilidad.

También es necesario comparar el comportamiento de los distintos diseños de abresurcos en el campo, pero solo después de haber probado su comportamiento biológico en condiciones controladas de laboratorio. Una vez que se completan los detalles del laboratorio, es posible hacer comparaciones adecuadas en el campo usando una máquina para pruebas con varios abresurcos.

La operación en el campo ofrece la oportunidad para apreciar las reacciones de los agricultores a las nuevas tecnologías y aprender de ellos las limitaciones impuestas por sus sistemas de manejo. Esto también permite a los investigadores que trabajan con agricultores innovadores que desarrollen nuevas estrategias de manejo basadas en el aumento de la capacidad de las nuevas tecnologías emergentes para labranza cero.

La secuencia del desarrollo involucra la prueba de: i) sembradoras de un surco; ii) barras portaherramientas universales para probar en el campo distintos diseños de abresurcos al mismo tiempo; iii) sembradoras y sembradoras de precisión del tamaño de las parcelas, y iv) prototipos de sembradoras a escala de campo y un servicio de sembradoras a disposición de los agricultores.

Pruebas de sembradoras de un surco

Se construyeron modelos de sembradoras de un solo surco que fueron construidos con tres objetivos. En primer lugar fueron una herramienta para probar el comportamiento mecánico de los prototipos de abresurcos en el suelo en el campo. Por lo general, el objetivo de esas pruebas fue enfocado en la cuantificación del funcionamiento mecánico en diferentes condiciones de suelos o de los residuos. En algunos casos, como se ha mencionado anteriormente, podían ser usadas para sembrar áreas más extensas para pruebas aceleradas de desgaste.

En general, estas pruebas con sembradoras de un surco consistían en un abresurcos rígidamente montado en un bastidor unido al enganche de tres puntos del tractor, con la fuerza de penetración proporcionada por un lastre removible. De esta manera, el enganche de tres puntos actuaba como los brazos articulados para el abresurcos si bien la geometría de tal enganche raramente era ajustable como para formar un paralelogramo perfecto. Dentro del limitado rango de movimientos verticales requeridos de las máquinas para pruebas con el abresurcos en la tierra, los enganches del tractor fueron considerados aceptables.

En segundo lugar, las unidades para un solo surco fueron usadas para sembrar; en esos casos se agregaron sistemas simples de distribución de semillas y fertilizantes. Estas simples unidades para la siembra ofrecían la oportunidad de experimentar en el campo y verificar el comportamiento biológico de la colocación de las semillas y el fertilizante.

En tercer lugar, se convirtieron en una máquina conveniente, si bien limitada, para demostrar a los agricultores las cualidades de los nuevos abresurcos sin necesidad de transportar máquinas grandes y pesadas al campo. Los investigadores aprendieron que –aun con la ayuda de poder ver cómo operaba cada abresurcos en las siembras demostrativas de un solo surco– pocos observadores fueron ca-

paces de visualizar la capacidad de una sembradora para surcos múltiples operando en circunstancias similares. Por ello, el concepto de demostraciones en un solo surco jugó un papel menor en el amplio proceso de transferencia de tecnología pero fue importante en el proceso de desarrollo de la ingeniería.

El concepto de sembradora de un surco para labranza cero fue extendido a máquinas comerciales como una sembradora de parcelas para estaciones experimentales, una sembradora comercial para establecer arbustos alimenticios por medio de labranza cero en zonas de tierras de ladera y erosionables y una sembradora comercial para pequeños agricultores en países en desarrollo. La adaptabilidad fue posteriormente mejorada con un bastidor frontal con rueda para asegurar que el ángulo de giro del abresurco permanecía en posición correcta y para facilitar los giros cuando se usaban animales de tiro. Se agregó una plataforma a la parte posterior para permitir llevar al operador y actuar como peso para la fuerza de penetración. Las Láminas 129, 130 y 131 muestran

varias máquinas de un surco para pruebas usadas en ensayos y/o demostraciones de la versión de discos de los abresurcos de ala.

Prueba de campo simultánea de varios diseños de abresurcos

Es difícil ejecutar una prueba válida de comparación de abresurcos a escala de campo sin tener la posibilidad de controlar el suelo y las condiciones climáticas. Casi invariablemente, esas pruebas revelan el dominio de un modelo de abresurcos sobre otros abresurcos comparados en esas condiciones particulares, solamente por el hecho de alterar el orden en diferentes condiciones. Se deben identificar las condiciones de campo bajo las cuales es dominante un abresurco y comprender las fortalezas y las debilidades de los distintos diseños.

A menudo, pueden variar distintos parámetros y es muy difícil aislar las razones por las cuales uno o más abresurcos tienen un comportamiento superior en ciertas condiciones



Lámina 129 Sembradora de un solo surco para labranza cero disponible en el comercio.



Lámina 130 Antigua unidad de un solo surco para demostraciones.



Lámina 131 Máquina de un solo surco para probar la capacidad de manejo de los residuos de un abresurcos para labranza cero.

específicas sin contar con resultados experimentales de laboratorio que justifiquen la

capacidad biológica de varios abresurcos para labranza cero. Salvo cuando los abresurcos

requieren barras portaherramientas de control o son autocontrolados, un solo ajuste de altura y presión de penetración o velocidad puede no ser apropiados para todos los abresurcos, y dar resultados erróneos favorables a aquellos abresurcos que se benefician de la prueba de ajuste.

Es interesante señalar que cuando al público se le solicitaron comentarios a favor o en contra de las distintas máquinas para labranza cero, gran parte de las personas entendió que tales juicios no pueden ser hechos hasta que las distintas máquinas son comparadas y probadas en el mismo campo. Esta respuesta aparentemente obvia, sin embargo, es errónea porque esas pruebas por lo general no identifican o aíslan las causas individuales de los procesos o las diferencias que pudieran surgir. Es dudoso que alguna vez se haya obtenido un uso científicamente útil por medio, comparaciones de campo de múltiples máquinas para labranza.

Las barras portaherramientas de campo son útiles como una etapa intermedia en el desa-

rollo de la ingeniería para ensayos de campo y de prototipos de abresurcos antes de considerarlos suficientemente prometedores como para incorporarlos en una sembradora o en una sembradora de precisión de surcos múltiples, o incluso en una sembradora para un solo surco.

La Lámina 132 muestra una barra portaherramientas universal de campo para evaluar distintos abresurcos tal como ha sido diseñado por la University of New England, NSW, Australia (J. Scott, 1992, comunicación personal).

Sembradoras y sembradoras de precisión para parcelas

Una vez que las características de un abre-surcos, por ejemplo, la versión de disco de un abre-surco de ala son hechas públicas, es común que otras organizaciones de investigación desarrollen y construyan sembradoras y sembradoras de precisión para parcelas equipadas solamente con ese tipo de abresurcos para sembrar parcelas de ensayos y campos de evalua-



Lámina 132 Ejemplo de una sembradora universal para parcelas.

ción. En general, la mayoría de los diseños de las máquinas para parcelas han sido un intento de duplicar los arreglos mecánicos y comerciales de las máquinas de campo tan fielmente como sea posible y al mismo tiempo incorporan algunas facilidades para una supervisión más precisa de las dosis de aplicación de fertilizantes y semillas, para la limpieza de las tolvas de los productos entre las parcelas de ensayos y varias opciones para ajustes mecánicos. Estas máquinas están construidas para ser fácilmente transportadas a lugares remotos de en-

sayos o para demostraciones en las fincas de los agricultores. Tales sembradoras adaptadas a las parcelas han sido una etapa intermedia importante del desarrollo antes de obtener prototipos de campo de grandes medidas. La Lámina 133 muestra varias sembradoras típicas para parcelas basadas en la versión de discos de los abresurcos de ala.

Se usaron varios diseños de sembradoras de parcelas para trabajos de fitomejoramiento en parcelas pequeñas y con cantidades muy reducidas de semillas. Se introdujeron mecanis-

SEMBRADORAS DE RANURA CRUZADA A ESCALA EXPERIMENTAL



USDA-1, Pullman, WA



USDA-2, Pullman, WA



WSU Ensayos de variedades –
Pullman, WA



WSU Extensión – Dayton, WA



WSU Experimentación – Lind, WA



NDSU Experimentación – Williston, ND

Lámina 133 Sembradoras típicas para parcelas basadas en la versión de discos de los abresurcos de ala.

mos innovadores para demorar la caída de las semillas de los grupos de abresurcos, de modo que tanto los sembradores traseros como los delanteros comenzaron y terminaron la siembra en el borde de las parcelas.

Prototipos de sembradoras a escala de campo y servicio de sembradoras para los agricultores

El objetivo final de cualquier programa de desarrollo de sembradoras es producir una máquina para el campo que pueda trabajar en operaciones comerciales. Uno de los problemas del desarrollo de sembradoras eficientes para el sistema de labranza cero fue que los requisitos de las sembradoras eran en gran parte desconocidos y altamente variables para este nuevo estilo de producción agrícola y que pocos usuarios podían identificar las causas de los fracasos o los éxitos. Por lo tanto, las demostraciones y las pruebas de campo tomaron una nueva dimensión.

En primer lugar, una sembradora prototipo fue transportada a una serie de fincas de agricultores dispuestos a probarlas en sus establecimientos; sin embargo, esto requería modificar los enganches y las conexiones hidráulicas cada vez que se cambiaba el tractor del agricultor. El problema de la incompatibilidad de las conexiones hidráulicas fue solucionado en un primer momento equipando la sembradora con un sistema hidráulico propio movido por un motor montado en la misma sembradora, si bien esto no solucionaba los otros problemas mencionados. También era difícil encontrar un compromiso formal por parte de los agricultores para manejar el sistema de labranza cero de manera que proporcionara datos confiables sobre la producción y la economía a fin de utilizarlos en los análisis de campo.

Un ejemplo exitoso de pruebas y evaluación de prototipos lo constituyó un tractor completo con sembradora y camión para transporte que se desplazó en gran parte de Nueva Zelanda (Ritchie y Baker, 1987). Este país

ofreció dentro de una distancia de viaje conveniente, una vasta gama de empresas agropecuarias, microclimas, sistemas de producción y tipos de suelos representativos de muchos de los tipos de agricultura que se encuentran en todo el mundo.

Se solicitó apoyo económico a los agricultores para las operaciones y para involucrarlos más intensamente y en una forma más comprometida y significativa. Por lo tanto, lo que en un primer momento fue una operación de pruebas de campo para los investigadores, se transformó, para los agricultores, en un servicio de siembra contratada y en un método de transferencia de tecnología altamente efectivo para ambas partes. Durante un período de 10 años durante el cual se utilizaron tres generaciones de prototipos de sembradoras en aproximadamente 200 campos distintos y en más de 100 fincas, muchas de las cuales fueron sembradas durante varios años sucesivos. La Lámina 134 muestra una máquina integrada para trabajos en el campo.

Aunque el propósito principal de este prototipo de sembradora fue proporcionar información básica a los investigadores sobre el comportamiento en el campo y al mismo tiempo funcionar como un medio de transferencia de tecnología, la operación se convirtió en la base para desarrollar y evaluar nuevas e innovadoras técnicas y estrategias de manejo de las fincas. Los investigadores y consultores participantes usaron la oportunidad como un medio para que otros investigadores introdujeran especies de pasturas tolerantes a la sequía en las tierras de secano existentes (Barr, 1986; Ritchie, 1986a; Milne y Fraser, 1990; Milne *et al.*, 1993).

Resumen del desarrollo de sembradoras y transferencia de tecnología

1. Hay pocos procedimientos experimentales estandarizados conocidos para



Lámina 134 Equipo totalmente integrado de máquina sembradora para pruebas de campo y demostraciones en las fincas de los agricultores.

2. El estudio de abresurcos, sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero requiere desarrollar conocimientos acerca de los procedimientos experimentales, el comportamiento mecánico y el consecuente crecimiento de las plantas.
3. La extracción de grandes bloques de suelo del campo sin disturbar para trasladarlos a un ambiente climáticamente controlado es un método útil para controlar la humedad del suelo, sembrar con abresurcos para simular el comportamiento en el campo y controlar el clima posteriormente a la siembra.
4. Los requisitos ambientales de las semillas y las plántulas dentro de la ranura para la siembra involucran las siguientes variables: i) régimen de humedad del suelo dentro de la ranura; ii) humedad suelo-aire dentro de la ranura; iii) oxígeno del suelo dentro y alrededor de la ranura, y iv) temperatura del suelo dentro de la ranura.
5. El disturbio del suelo por los abresurcos para la siembra requiere la supervisión de los parámetros de: i) resistencia del suelo; ii) presión instantánea del suelo (estrés); iii) desplazamiento instantáneo y permanente del suelo; iv) densidad del suelo, y v) alisado.
6. Aspectos importantes de la posición de las semillas en el suelo después de la siembra son: i) espaciamiento de las semillas a lo largo del surco; ii) profundidad de las semillas, y iii) posición lateral de las semillas en relación con la línea central de la ranura.
7. El recorrido de las semillas desde su salida de la tolva y a través de buenos abresurcos es a menudo más tortuosa y menos predecible que con sembradoras más simples en suelos labrados.
8. Es importante cuantificar las fuerzas de arrastre opuestas a la rotación de los abresurcos de disco para eliminar aquellas que son innecesarias y minimizar aquellas útiles.

9. El desgaste normal en el campo de todos los componentes del abresurcos- sembradora (láminas, alas, discos, cojinetes) deben ser estudiados en condiciones de siembra continua en campos sin disturbar.
10. El agregado de componentes a los abresurcos para la colocación del fertilizante puede causar formas de desgaste indeseables o interferir con la capacidad del abresurcos para manejar los residuos superficiales.
11. Las barras portaherramientas con múltiples abresurcos son útiles para probar en el campo prototipos de abresurcos.
12. El objetivo final de cualquier programa de desarrollo de una sembradora es producir una máquina capaz de cumplir operaciones comerciales normales para las cuales ha sido diseñada.

Referencias

- Abu-Hamdeh, N.H. (2003) Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research* 74, 25–35.
- Addae, P.C., Collis-George, N. and Pearson, C.J. (1991) Over-riding effects of temperature and soil strength on wheat seedling under minimum and conventional tillage. *Field Crops Research* 28, 103–116.
- Afzal, C.M. (1981) The requirements of dry fertilizer placement in direct drilled crops by an improved chisel coulter. Thesis, Massey University Library, New Zealand, 127 pp.
- Allam, R.K. and Wiens, E.H. (1982) Air seeder testing. *Canadian Agricultural Engineering* 24, 91–101.
- Allmaras, R.R., Schomberg, H.H., Douglas, C.L., Jr and Dao, T.H. (2000) Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. *Journal of Soil and Water Conservation* 55, 365–373.
- Almeida, R.A. (1993) Adaptação da 'matraca' ao plantio direto em pequenas propriedades. In: *Encontro Latinoamericano de Planto Direitona Pequena Propriedade 1*, IAPAR, Ponta Grossa, Brazil, pp. 251–257.
- Angers, D.A. and Simard, R.R. (1986) Relationships between organic matter content and soil bulk density. *Canadian Journal of Soil Science* 66, 743–746.
- Ankeny, M.D., Kaspar, T.C. and Horton, R. (1990) Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. *Soil Science Society of America Journal* 54, 837–840.
- Anon. (1993) *Sod Seeding Techniques*. Research Update 699, Prairie Agricultural Machinery Institute, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Anon. (1995) North Otago sustainable land management guidelines [draft]. Otago Regional Council, Dunedin, New Zealand, 92 pp.
- Anon. (2000) Study promotes soil benefits of no-till cropping. *Country Wide, New Zealand*, April, 22.
- Anon. (2004) Mapping a route through precision drill maze. *Profi International* 6, June, 18–24.
- Aquino, P. (1998) *The Adoption of Bed Planting of Wheat in the Yaqui Valley, Sonora, Mexico*. CIMMYT Wheat Special Report No. 17a, CIMMYT, Mexico, DF.
- Araújo, A.G., Casão, R., Jr and Figueiredo, P.R.A. (1993) Recomendações para dimensionamento e construção do rolo-faca. In: *Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade, 1, 1993. Anais*. Instituto Agrônômico do Paraná, Ponta Grossa, pp. 271–280.
- Araújo, A.G. and Rodrigues, B.N. (2000) Manejo mecânico e químico da aveia preta e sua influencia sobre a taxa de decomposição e o controle de plantas daninhas em semeadura direta de milho. *Planta Daninha, Botucatu* 18(1), 151–160.
- Avnimelech, Y. and Cohen, A. (1988) On the use of organic manures for amendment of compacted clay soils: effects of aerobic and anaerobic conditions. *Biological Wastes* 29, 331–339.
- Bainier, R., Kepner, R.A. and Barger, E.L. (1955) *Principles of Farm Machinery*. John Wiley and Sons, New York, 571 pp.

- Baker, C.J. (1969a) A tillage bin and tool testing apparatus for turf samples. *Journal of Agricultural Engineering Research* 14(4), 357–360.
- Baker, C.J. (1969b) The present methods of pasture establishment. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 31, 52–59.
- Baker, C.J. (1970) A simple covering harrow for direct drilling. *New Zealand Farmer* 91, 62–63.
- Baker, C.J. (1971) Filling up spaces by surface seeding. In: *Proceedings of the 24th New Zealand Weed and Pest Control Conference*, New Zealand Weed and Pest Control Society, pp. 75–79.
- Baker, C.J. (1976a) An investigation into the techniques of direct drilling seeds into undisturbed sprayed pasture. Thesis, Massey University Library, New Zealand, 186 pp.
- Baker, C.J. (1976b) Experiments relating to the techniques of direct drilling of seeds into untilled dead turf. *Journal of Agricultural Engineering Research* 21(2), 133–145.
- Baker, C.J. (1976c) Some effects of cover, seed size, and soil moisture status on establishment of seedlings by direct drilling. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 5, 47–53.
- Baker, C.J. (1979) Equipment impact and recent developments. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 5–12.
- Baker, C.J. (1981a) How direct drilling equipment developments in Europe and North America relate to New Zealand. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 105–121.
- Baker, C.J. (1981b) Techniques of overdrilling for the introduction of improved pasture species in temperate grasslands. In: *Proceedings of the XIV International Grassland Congress*, International Grassland Congress, pp. 542–544.
- Baker, C.J. (1993a) Inverted T drill openers for pasture establishment by conservation tillage. In: *Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand*, International Grassland Congress.
- Baker, C.J. (1993b) The evolution of 'Cross Slot' no-tillage planters and drills. In: *Proceedings of the II National Congress of No Tillage, Cordoba, Argentina (Trabajos Presentados II Congreso Nacional de Siembra Directa)*, Asociación Argentina Productores en Siembra Directa, Rosario, Argentina, pp. 104–116.
- Baker, C.J. (1993c) Machinery: drills. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M. and Wilkins, J.A.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*, 2nd edn. AgResearch, Hamilton, New Zealand, pp. 48–54.
- Baker, C.J. (1994) The case for hi-technology no-tillage. In: *Proceedings of the Third National Congress of No-Tillage, Cordoba, Argentina*, Asociación Argentina Productores en Siembra Directa, Rosario, Argentina, pp. 145–157.
- Baker, C.J. (1995) Is hi-tech no-tillage inevitable? In: *Proceedings of the Third National No-Tillage Conference, Indianapolis, Indiana, USA*, Lessiter Publications, Brookfield, Wisconsin, USA, pp. 153–164.
- Baker, C.J. and Afzal, C.M. (1981) Some thoughts on fertilizer placement in direct drilling. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 343–354.
- Baker, C.J. and Afzal, C.M. (1986) Dry fertilizer placement in conservation tillage: seed damage in direct drilling. *Soil and Tillage Research* 7, 241–250.
- Baker, C.J. and Badger, E.M. (1979) Developments with seed drill coulters for direct drilling: II. Wear characteristics of an experimental chisel coulters. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 185–188.
- Baker, C.J. and Choudhary, M.A. (1988) Seed placement and micro-management of residue in dryland no-till. In: *Proceedings of the International Conference on Dryland Farming, Amarillo, Texas, USA*, Texas Agricultural Experiment Station, Bushland, Amarillo, Texas, pp. 544–546.
- Baker, C.J. and Mai, T.V. (1982a) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: IV techniques for measuring soil compaction in the vicinity of drilling grooves. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25, 43–49.
- Baker, C.J. and Mai, T.V. (1982b) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils. V. Groove compaction and seedling root development. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25, 51–60.
- Baker, C.J. and Saxton, K.E. (1988) The Cross Slot conservation-tillage grain drill opener. In: *Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Chicago, Illinois, USA*, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper no. 88–1568.

- Baker, C.J., Badger, E.M., McDonald, J.H. and Rix, C.S. (1979a) Developments with seed drill coulters for direct drilling: I. Trash handling properties of coulters. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 175–184.
- Baker, C.J., McDonald, J.H., Seebeck, K., Rix, C.S. and Griffiths, P.M. (1979b) Developments with seed drill coulters for direct drilling: III. An improved chisel coulters with trash handling and fertilizer placement capabilities. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 189–196.
- Baker, C.J., Thom, E.R. and McKain, W.I. (1979c) Developments with seed drill coulters for direct drilling: IV. Band spraying for suppression of competition during over-drilling. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 7, 411–416.
- Baker, C.J., Chaudhry, A.D. and Springett, J.A. (1987) Barley seedling establishment and infiltration from direct drilling in a wet soil. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 17, 59–66.
- Baker, C.J., Chaudhry, A.D. and Springett, J.A. (1988) Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil. 3. Comparison of six sowing techniques. *Soil and Tillage Research* 11, 167–181.
- Baker, C.J., Saxton, K.E. and Ritchie, W.R. (1996) *No-tillage Seeding: Science and Practice*. CAB International, Wallingford, UK, 258 pp.
- Baker, C.J., Choudhary, M.A. and Collins, R.M. (2001) Factors affecting the uptake of no-tillage in Australia, Asia and New Zealand. In: *Proceedings 1 World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, Spain*, Vol. 1, European Conservation Agriculture Federation (Brussels, Europe) and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, pp. 35–42.
- Ball, B.C., Scott, A. and Parker, J.P. (1999) Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil and Tillage Research* 53(1), 29–39.
- Barr, S.J. (1980) Some factors affecting the success of pasture renovation using over-drilling with band spraying. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, New Zealand, 84 pp.
- Barr, S.J. (1981) Specifying and evaluating the performance of overdrilling machines. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*, Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 151–163.
- Barr, S.J. (1986) Direct drilling to increase pasture production. *New Zealand Dairy Farming Annual* 150–158.
- Basker, A., MacGregor, A.N. and Kirkman, J.H. (1993) Exchangeable potassium and other cations in non-ingested soil and casts of two species of pasture earthworms. *Soil Biology and Biochemistry* 25, 1673–1677.
- Baumer, C.R., Devito, C.R. and Gonzalez, N.C. (1994) *Sembradoras Directas de Granos Finos*. Boletín de Extension No. 9 (PAC-BAN No. 5), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, 25 pp.
- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J. and Ceretta, C.A. (2000a) Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. *Soil and Tillage Research* 53, 95–104.
- Bayer, C., Mielniczuk, J., Amado, T.J.C., Martin-Neto, L. and Fernandes, S.V. (2000b) Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 54, 101–109.
- Benjamin, L.A. (1990) Variation in time of seedling emergence within populations: a feature that determines individual growth and development. *Advances in Agronomy* 44, 1–25.
- Bernardi, R. and Lazaretti, A. (2004) Agricultura orgânica em sistema de plantio direto. In: *Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, 9º, Anais*. Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, Chapecó, Brazil, pp. 105–106.
- Bevin, A.S. (1944) *The Awakening*. Wilson and Horton, Auckland, New Zealand, 78 pp.
- Blackmore, L.W. (1955) The overdrilling of pastures. In: *Proceedings of the 7th New Zealand Grasslands Association Conference*. New Zealand Grasslands Association, Dunedin, pp. 139–148.
- Blackwell, P.S., Ward, M.A., Lefevre, R.N. and Cowan, D.J. (1985) Compaction of a swelling clay soil by agricultural traffic, effects upon conditions for growth of winter cereals and evidence for some recovery of structure. *Journal of Soil Science* 36(4), 633–650.
- Blevens, R.L. and Frye, W.W. (1993) Conservation tillage: an ecological approach to soil management. *Advances in Agronomy* 51, 37–78.
- Bligh, K.J. (1991) Tined and disced no-till seeder comparison. In: *Proceedings of the Meeting of the American Society of Agricultural Engineers*, American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper number 91–8005.

- Borlaug, N.E. (1994) Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. In: *Supplement to Transactions of the 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico*, International Society of Soil Science. Supplement to 15th World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico.
- Botta, G.F., Jorajuria, D., Balbuena, R. and Rosatto, H. (2004) Mechanical and cropping behavior of direct drilled soil under different traffic intensities: effect on soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil and Tillage Research* 78, 53–58.
- Bouaziz, A., Souty, N. and Hicks, D. (1990) Emergence force exerted by wheat seedlings. *Soil and Tillage Research* 17, 211–219.
- Braverman, M.P., Dusky, J.A., Locascio, S.J. and Hornsby, A.G. (1990) Sorption and degradation of thiobencarb in three Florida soils. *Weed Science* 38(6), 583–588.
- Brougham, R.W. and Hodgson, J. (1992) Grasslands for the world. Foreword to *Prospectus for XVII International Grassland Congress*. International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand.
- Brown, A.D. (1997) Soil physical conditions for optimum crop establishment. PhD thesis, Cranfield University, Silsoe, UK.
- Brown, S.W. (1982) An investigation into wear characteristics of a direct drilling coulter (opener). Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 228 pp.
- Brown, S.W. and Baker, C.J. (1985) Wear characteristics of a direct-drilling opener. *Soil and Tillage Research* 6, 247–260.
- Calegari, A. (1990) *Plantas para adubação verde de inverno no sudoeste do Paraná*. Boletim Técnico, 35, IAPAR, Londrina, 37 pp.
- Cambardella, C.A. and Elliott, E.T. (1992) Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal* 56, 777–783.
- Campbell, A.J. (1985) An X-ray technique for determining seed placement in direct drilled soils. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 154 pp.
- Campbell, A.J. and Baker, C.J. (1989) An X-ray technique for determining three-dimensional seed placement in soils. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 379–384.
- Campbell, B.D. (1981) Observations on early seedling establishment for overdrilled red clover. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 143–150.
- Campbell, B.D., McDonald, J.H. and Baker, C.J. (1985) A mechanism to regulate winged coulter depth and overdrilled seed spacing in field experiments. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 13, 175–179.
- Campbell, C.A., Selles, F., Lafond, G.P. and Zentner, R.P. (2001) Adopting zero tillage management: impact on soil C and N under long-term crop rotations in a thin Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* 81, 139–148.
- Campbell, D.J., Dickson, J.W., Ball, B.C. and Hunter, R. (1986) Controlled seedbed traffic after ploughing or direct drilling under winter barley in Scotland, 1980–1984. *Soil and Tillage Research* 8, 3–28.
- Carpenter, A., Kain, W.M., Baker, C.J. and Sims, R.E.H. (1978) The effects of tillage technique on insect pests of seedling maize. In: *Proceedings of the 31st New Zealand Weed and Pest Control Conference*. New Zealand Weed and Pest Control Society, pp. 89–91.
- Carter, L.M., Meek, B.D. and Rechel, E.A. (1991) Zone production system for cotton: soil response. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 34(2), 354–360.
- Carter, M.R. (1994) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis, Boca Raton, Florida, 390 pp.
- Carter, P.A. (1986) Aspects of precision spacing of vegetable crop seeds and no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 110 pp.
- Casão, R., Jr and Yamaoka, R.S. (1990) Desenvolvimento de semeadora-adubadora direta tração animal. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola 1990, Piracicaba Anais*. SBEA, Piracicaba, pp. 766–777.
- Chamen, W.C.T. and Longstaff, D.J. (1995) Traffic and tillage effects on soil conditions and crop growth on a swelling clay soil. *Soil Use and Management* 11, 168–176.
- Chamen, W.C.T., Chithey, E.T., Leede, P.R., Goss, M.J. and Howse, K.R. (1990) The effect of tyre soil contact pressure and zero traffic on soil and crop responses when growing winter wheat. *Journal of Agricultural Engineering Research* 47, 1–21.
- Chamen, W.C.T., Vermeulen, G.D., Campbell, D.J. and Sommer, C. (1992) Reduction of traffic-induced soil compaction: a synthesis. *Soil and Tillage Research* 24, 303–318.
- Chaney, K. and Swift, R.S. (1984) The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil Science* 35, 223–230.

- Chaudhry, A.D. (1985) Effects of direct drilling openers, surface residue and earthworms on seed and seedling performance in a wet soil. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 336 pp.
- Chaudhry, A.D. and Baker, C.J. (1988) Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil: I. Effects of openers under simulated rainfall and high water-table conditions. *Soil and Tillage Research* 11, 443–461.
- Choudhary, M.A. (1979) Interrelationships between performance of direct drilled seeds, soil micro-environment and drilling equipment. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 211 pp.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1980) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: I. Wheat seedling emergence from a dry soil under controlled climates. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23, 489–496.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1981a) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: II. Seed groove formation by a 'triple disc' coultter and seedling performance. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24, 183–187.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1981b) Physical effects of direct drilling equipment on undisturbed soils: III. Wheat seedling performance and in-groove micro-environment in a dry soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24, 189–195.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1982) Effects of drill coultter design and soil moisture status on emergence of wheat seedlings. *Soil and Tillage Research* 2, 131–142.
- Choudhary, M.A. and Baker, C.J. (1994) In: Carter, M.R. (ed.) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 183–207.
- Choudhary, M.A., Guo, P.Y. and Baker, C.J. (1985) Seed placement effects on seedling establishment in direct drilled fields. *Soil and Tillage Research* 6, 79–93.
- Choudhary, M.A., Baker, C.J. and Stiefel, W. (1988a) Dry fertilizer placement in direct drilling. *Soil and Tillage Research* 12, 213–221.
- Choudhary, M.A., Baker, C.J., Currie, L.D. and Lynch, T.J. (1988b) Disposal of agricultural liquid waste by sub-soil injection. In: Bhamidimarri, R. (ed.) *Alternative Waste Treatment Systems*. Elsevier Applied Science, London.
- Cockcroft, B. and Olsson, K.A. (2000) Degradation of soil structure due to coalescence of aggregates in no-till, no-traffic beds in irrigated crops. *Australian Journal of Soil Research* 38, 61–70.
- Collins, R.M. (1970) A study of band spraying and direct drilling as a technique for increasing the winter production of pastures. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 142 pp.
- Collis-George, N. and Lloyd, J.E. (1979) The basis for a procedure to specify soil physical properties of a seed bed for wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* 30, 831–846.
- Cook, J. and Veseth, R. (1993) *Wheat Health*. National Society of Plant Pathology.
- Copp, L.G.L. (1961) A precision seeder operated by suction. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 4, 441–443.
- Cross, M.W. (1957) Overdrilling machinery and methods. In: *Massey Agricultural College Dairy Farmers' Conference, Massey University, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 77–84.
- Cross, M.W. (1959) Method of reducing pasture establishment costs. *Sheepfarming Annual, Massey University, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 107–116.
- Crovetto, L.C. (1996) *Stubble over the soil: The Vital Role of Plant Residue in Soil Management to Improve Soil Quality*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 245 pp.
- Cullen, N. (1966) Pasture establishment on unploughable hill country in New Zealand. In: *Proceedings of the X International Grassland Congress*, International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand, pp. 851–855.
- Dangol, B. (1968) A review of the factors affecting pasture establishment. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 88 pp.
- Dick, W.A., Van Doren, D.A., Triplett, G.D., Jr and Henry, J.E. (1986a) *Influence of Long-term Tillage and Crop Rotation Combination on Crop Yields and Selected Soil Parameters. The Results Obtained for a Typical Fragiudalf Soil*. Research Bulletin 1180, OSU and OARDC, Wooster, Ohio.
- Dick, W.A., Van Doren, D.A., Triplett, G.D., Jr and Henry, J.E. (1986b) *Influence of Long-term Tillage and Crop Rotation Combination on Crop Yields and Selected Soil Parameters. II. The Results Obtained for a Typical Fragiudalf Soil*. Research Bulletin 1181, OSU and OARDC, Wooster, Ohio.
- Dickson, J.W. and Campbell, D.J. (1990) Soil and crop responses to zero- and conventional-traffic systems for winter barley in Scotland, 1982–1986. *Soil and Tillage Research* 18, 1–26.

- Diekow, J., Mielniczuk, J., Knicker, H., Bayer, C., Dick, D.P. and Kögel-Knabner, I. (2004) Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research* 81, 87–95.
- Dixon, H.N. (1972) The effects of coulters design on soil compaction and root development of a cereal following direct drilling. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 51 pp.
- Domínguez, J., Bohlen, P.J. and Parmelee, R.W. (2004) Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems* 7, 672–685.
- Doran, J.W. (1980) Microbial changes associated with residue management with reduced tillage. *Soil Science Society of America Journal* 44, 518–524.
- Doran, J.W., Fraser, D.G., Culik, M.N. and Leibhardt, W.C. (1987) Influence of alternative and conventional agricultural management on soil microbial processes and N availability. *American Journal of Alternative Agriculture* 2, 99–106.
- Dudek, D.J., Goffman, J. and Wade, S.M. (1997) Emissions trading in nonattainment areas: potential, requirements, and existing programs. In: Kosobud, R.F. and Zimmermann, J.M. (eds) *Market-based Approaches to Environmental Policy: Regulatory Innovations to the Fore*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 151–185.
- Dumanski, J., Desjardins, R.L., Tarnocai, C., Monreal, D., Gregorich, E.G., Kirkwood, V. and Campbell, C.A. (1998) Possibilities for future carbon sequestration in Canadian agriculture in relation to land-use changes. *Climate Change* 40, 81–103.
- Duxbury, J.M., Harper, L.A. and Mosier, A.R. (1993) Contributions of agroecosystems to global climate change. In: Harper, L. et al. (eds) *Agroecosystem Effects on Radiatively Important Trace Gases and Global Climate Change*. ASA Publication 55, ASA, Madison, Wisconsin, pp. 1–18.
- Edwards, J.H., Wood, C.W., Thurlow, D.L. and Ruf, M.E. (1992) Tillage and crop rotation effects on fertility status of a Hapludalt soil. *Soil Science Society of America Journal* 56, 1577–1582.
- Edwards, W.M., Shipitalo, M.J. and Norton, L.D. (1988) Contribution of macroporosity to infiltration into a continuous corn no-tilled watershed: implications for contaminant movement. *Journal of Contaminant Hydrology* 3, 193–205.
- Ellert, B.H. and Janzen, H.H. (1999) Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian prairies. *Soil and Tillage Research* 50, 21–32.
- EI-Swaify, S.A. (ed.) (1999) *Sustaining the Global Farm – Strategic Issues, Principles, and Approaches*. International Soil Conservation Organization (ISCO) and Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii, Manoa, Hawaii, 60 pp.
- Faulkner, E. (1943) *Ploughman's Folly*. Michael Joseph, London, 142 pp.
- Fick, C. (2000) On the money. *Farm Journal* April, 12–13.
- Flerchinger, G.N. and Saxton, K.E. (1989a) Simultaneous heat and water model of a freezing snow–residue–soil system: I. Theory and development. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 565–571.
- Flerchinger, G.N. and Saxton, K.E. (1989b) Simultaneous heat and water model of a freezing snow–residue–soil system: II. Field verification. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 32(2), 573–578.
- Flowers, M.D. and Lal, R. (1998) Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a Mollic Ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research* 48, 21–35.
- Follas, G.B. (1981) The effects of coulters design on slug damage in direct drilling. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 201–216.
- Follas, G.B. (1982) A study of the effects of ground cover on overwintering slug populations and the effect of coulters design on slug incidence in direct drilling. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 121 pp.
- Follett, R.F. (2001) Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research* 61, 77–92.
- Franzluebbers, A.J. and Arshad, M.A. (1996) Soil organic matter pools during early adoption of conservation tillage in northwestern Canada. *Soil Science Society of America Journal* 60, 1422–1427.
- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995a) Tillage and crop effects on seasonal dynamics of soil CO₂ evolution, water content, temperature and bulk density. *Soil Science Society of America Journal* 2, 95–109.

- Franzluebbers, A.J., Hons, F.M. and Zuberer, D.A. (1995b) Tillage-induced seasonal changes in soil physical properties affecting soil CO₂ evolution under intensive cropping. *Soil and Tillage Research* 34, 41–60.
- Frye, W.W. (1984) Energy requirements in no tillage. In: Phillips, R.E. and Phillips, S.H. (eds) *No-tillage Agricultural Principles and Practices*. VanNostrand Reinhold, New York, pp. 127–151.
- Fundação ABC (1993) Custos de Mecanizacao Agricola Castro. *Revista Batavo* 21, 23.
- Gaffney, J. and Wilson, A. (2003) The economics of zero tillage and controlled traffic farming for Western Downs farms. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 458–464.
- Gamero, C.A., Siqueira, R., Levien, R. and Silva, S.L. (1997) Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, Campina Grande. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1997, v. cd-rom*, pp. 1–13.
- Garcia-Torres, L., Benites, J. and Martinez-Vilela, A. (2001) Conservation agriculture: a worldwide challenge. In: *Proceedings of the 1st World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, Spain, 1–5 October 2001*. XUL, Cordova, Spain, p. 387.
- Gerik, T.J., Morrison, J.E., Jr and Chichester, F.W. (1987) Effects of controlled-traffic on soil physical properties and crop rooting. *Agronomy Journal* 79, 434–438.
- Giles, D.M. (1994) Crop residue decomposition under no-tillage in Manawatu. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 67 pp.
- Gilley, J.E. and Doran, J.W. (1997) Tillage effects on soil erosion potential and soil quality of a former conservation reserve program site. *Journal of Soil and Water Conservation* 52, 184–188.
- Goh, K.M. (2004) Carbon sequestration and stabilization in soils: implications for soil productivity and climate change. *Soil Science and Plant Nutrition* 50, 467–476.
- Govaerts, B., Sayre, K.D. and Deckers, J. (2004) Stable high yields with zero-tillage and permanent bed planting. *Field Crops Research*. Article in press but available online at www.sciencedirect.com
- Grover, G., Vandaele, K., Desmet, P.J.J., Poesen, J. and Bunte, K. (1994) The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science* 45, 469–478.
- Grabski, A.S., Schafer, B.M. and Desborough, P.J. (1995) A comparison of the impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton, NSW. In: *Proceedings of the National Controlled Traffic Conference, Rockhampton, Australia*, pp. 97–102.
- Grant, F.R. (1997) Changes in soil organic matter under different tillage and rotations: Mathematical modeling in ecosystems. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1159–1175.
- Graves, D.W. (1994) No tillage: soil inversion in perspective. In: *Proceedings of the Federation of Organic Agriculture Movements, Canterbury, New Zealand* (in press).
- Green, M. and Eliason, M. (1999) *Equipment Issues in Crop Residue Management for Direct Seeding*. Factsheets in Direct Seeding, November, Alberta Agriculture, Food and Development.
- Hadfield, A.B. (1993) Seeding depth effects on the performance of wheat and lupin seedlings under no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 115 pp.
- Haggar, R.J. (1977) Herbicides and low-cost grassland establishment, with special reference to clean seedbeds and one-pass seeding. In: *Proceedings of the International Conference on Energy Conservation in Crop Production, Palmerston North, New Zealand*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, 13 pp. 31–38.
- Hall, D.G.M., Reeve, M.J., Thomasson, A.J. and Wright, V.F. (1977) *Water Retention, Porosity and Density of Field Soils*. Soil Survey Technical Monograph No. 9, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, UK, 75 pp.
- Hamilton-Manns, M. (1994) Effects of date of sowing on pasture establishment by no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 138 pp.
- Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Classen, M.M. and Long, J.H. (1990) Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 54, 448–452.
- Heege, H.J. (1993) Seeding methods performance for cereals, rape and beans. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 36(3), 653–661.
- Heywood, A.L. (1977) Selected plant and soil responses to three methods of seedbed preparation. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 87 pp.
- Hobbs, P.R. and Gupta, R.K. (2003) Resource-conserving technologies for wheat in rice-wheat systems. In: Ladha, J.K., Hill, J., Gupta, R.K., Duxbury, J. and Buresh, R.J. (eds) *Improving the Productivity and Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impact*. ASA Special Publication 65, Agronomy Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 149–171.

- Hobbs, P.R. and Gupta, R.K. (2004) Problems and challenges of no-till farming for the rice–wheat systems of the Indo-Gangetic plains in South Asia. In: Lal, R., Hobbs, P., Uphoff, N. and Hansen, D.O. (eds) *Sustainable Agriculture and the Rice–Wheat System*. Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 101–119; Marcel Dekker, New York, pp. 101–121.
- Hollbrook, J.R. (1995) Direct drilling in the UK and Europe and subsequent research into the effect of light on development of wheat. In: *Proceedings of the 2nd EC Workshop of the Concerted Action on Experiences with the Applicability of No-tillage Crop Production in the West European Countries, Silsoe, 15–17 May 1995*. Justus Liebig University, Giessen, Germany.
- Houghton, R.A., Hobbie, J.A., Melillo, J.M., More, B., Peterson, B.J., Shaver, G.R. and Woodwell, G.M. (1983) Changes in the carbon content of terrestrial biota in soils between 1860 and 1980: a net release of CO₂ to the atmosphere. *Ecological Monographs* 53, 235–262.
- Hudson, B.D. (1994) Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(2), 189–194.
- Hughes, K.A. (1975) A study of tillage mechanisms in relation to soil properties and crop growth. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 139 pp.
- Hughes, K.A. and Baker, C.J. (1977) The effects of tillage and zero-tillage systems on soil aggregates in a silt loam. *Journal of Agricultural Engineering Research* 22, 291–301.
- Hyde, G.M., Johnson, G.E., Simpson, J.B. and Payton, D.M. (1979) Grain drill design concepts for Pacific Northwest conservation farming. In: *Winter Meeting of the American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, USA*. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, Missouri, Paper no. 79–1525.
- Hyde, G.M., Wilkins, D.E., Saxton, K.E., Hammel, J., Swanson, G., Hermanson, R., Dowding, E.A., Simpson, J.B. and Peterson, C.L.M. (1987) Reduced tillage seeding equipment developments. In: Elliot, L.F. (ed.) *STEEP – Conservation Concepts and Accomplishments*. Washington State University Press, Pullman, Washington.
- Hyde, G.M., George, J.E., Saxton, K.E. and Simpson, J.B. (1989) Slot mulch insertion machine: design and performance. In: *American Society of Agricultural Engineers Winter Conference, Chicago, Illinois, USA*, Paper no. 89–1502.
- Inwood, S.B. (1990) The effects on seedling performance of different establishment techniques and drilling patterns in pasture renewal. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 61 pp.
- IPCC (2000) *Land Use, Land-use Change, and Forestry*. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 377 pp.
- Javed, T. (1992) Determination of drag torque of the rotating disc of the 'Bioblade' opener. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 162 pp.
- Justice, S. and Biggs, S. (2004a) Socially responsible rural mechanization processes and policies in Nepal. *Agricultural Research and Extension Network Newsletter* 50, July.
- Justice, S. and Biggs, S. (2004b) Socially equitable mechanisation in Nepal. *Appropriate Technology* 31, March, 1.
- Justice, S., Haque, E., Meisner, C., Hossain, I., Sah, G., Tripathi, J., Rashid, M.H. and Amin, M.R. (2004) Giving South Asia farmers a choice: a single drill for reduced and strip till crops for 2-wheel tractors. Paper presented at the 2004 International Commission on Agricultural Engineering (CIGR) International Conference, Beijing, China, 11–14 October 2004.
- Kanchanasut, P., Scotter, D.R. and Tillman, R.W. (1978) Preferential solute movement through larger soil voids, 11 experiments with saturated soil. *Australian Journal of Soil Research* 16, 257–267.
- Karonka, P. (1973) Machinery development for direct drilling. *Outlook on Agriculture* 7(4), 190–195.
- Kern, J.S. and Johnson, M.G. (1993) Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57, 200–210.
- Kim, D.A. (1971) The effects of sowing and renovation techniques on the establishment of, and competition between, pasture species. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 152 pp.
- Kimble, J.M., Lal, R. and Follett, R.R. (2002) Agricultural practices and policy options for carbon sequestration: what we know and where we need to go. In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 495–501.
- King, J.A., Bradley, R.I., Harrison, R. and Carter, A.D. (2004) Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use and Management* 20, 394–402.

- Kirby, E.J.M. (1993) Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Research* 35, 101–111.
- Kurachi, S.A.H., Costa, J.A.S., Bernardi, J.A., Silveira, G.M. and Coelho, J.L.D. (1993) *Avaliação Tecnológica: resultados de ensaios de mecanismos dosadores de sementes de semeadoras-adubadoras de precisão*. Boletim Técnico 28, Instituto Agrônomo, Campinas.
- Lafond, G.P., Derksen, D.A., Loeppky, H.A. and Struthers, D. (1994) An agronomic evaluation of conservation tillage systems and continuous cropping in East Central Saskatchewan. *Journal of Soil and Water Conservation* 49, 387–393.
- Lal, R. (1984) Soil erosion from tropical arable lands and its control. *Advances in Agronomy* 37, 183–248.
- Lal, R. (1989) Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics vs temperate environments. *Advances in Agronomy* 42, 1073–1082.
- Lal, R. (1997) Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. *Soil and Tillage Research* 43, 81–107.
- Lal, R. (1999) Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use. In: *Prevention of Land Degradation, Enhancement of Carbon Sequestration and Conservation of Biodiversity through Land Use Change and Sustainable Land Management with a Focus on Latin America and the Caribbean*. World Soil Resources Report 86, FAO, Rome, pp. 45–52.
- Lal, R. (2000) World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy* 71, 145–191.
- Lal, R. (2002) Why carbon sequestration in agricultural soils? In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 21–30.
- Lal, R. (2004) Carbon emission from farm operations. *Environment International* 30, 981–990.
- Lal, R., Logan, T.J., Eckert, D.J., Dick, W.A. and Shipitalo, M.J. (1994a) Conservation tillage in the corn belt of the United States. In: Carter, M.R. (ed.) *Conservation Tillage in Temperate Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 73–114.
- Lal, R., Mahboubi, A.A. and Fausey, N.R. (1994b) Long-term tillage affects on Mollic Ochraqualf in northwestern Ohio. III. Soil nutrient profile. *Soil and Tillage Research* 15, 371–382.
- Lal, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. and Cole, V. (1998) *Potential of U.S. Cropland for Carbon Sequestration and Greenhouse Effect Mitigation*. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, 128 pp.
- Lamarca, C.C. (1998) *Stubble over the Soil*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 245 pp.
- Lamers, J.G., Perdok, U.D., Lumkes, L.M. and Klooster, J.J. (1986) Controlled traffic farming systems in the Netherlands. *Soil and Tillage Research* 8, 65–76.
- Lane, P.M.S., Pottinger, R.P. and Kaligariff, P.J. (1993) Pasture renovation: costs and benefits. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*, 2nd edn. AgResearch, Hamilton, New Zealand, pp. 115–120.
- Le Bissonnais, Y. (1990) Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. In: Bryan, R.B. (ed.) *Soil Erosion: Experiments and Models*. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, pp. 13–28.
- Lee, K.E. (1985) *Earthworms: Their Ecology and Relationship with Soils and Land Use*. Academic Press, New York.
- Li, Y.X., Tullberg, J.N. and Freebairn, D.M. (2001) Traffic and residue cover effects on infiltration. *Australian Journal of Soil Research* 39, 239–247.
- Lindstrom, M.J., Nelson, W.W. and Schumacher, T.E. (1992) Quantifying tillage erosion rates due to moldboard plowing. *Soil and Tillage Research* 24, 243–255.
- Little, C.E. (1987) *Green Fields Forever: The Conservation Tillage Revolution in America*. Island Press, Washington, DC, 192 pp.
- Lobb, D.A. and Kachanoski, R.G. (1999) Modelling tillage translocation using steppe, near plateau, and exponential functions. *Soil and Tillage Research* 51, 261–277.
- Lobb, D.A., Kachanoski, R.J. and Miller, M.H. (1995) Tillage translocation and tillage erosion on shoulder slope landscape positions measured using ¹³⁷Cesium as a tracer. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 211–218.
- Lobb, D.A., Lindstrom, M.J., Quine, T.A. and Govers, G. (2000) Tillage at the threshold of the 21st century: new directions in response to tillage translocation and tillage erosion. In: *Proceedings of the 15th Conference of the International Soil and Tillage Research Organization, Elsevier, Netherlands, Fort Worth, Texas, 2–6 July 2000*.
- Logan, T.J., Lal, R. and Dick, W.A. (1991) Tillage systems and soil properties in North America. *Soil and Tillage Research* 20, 241–270.

- Lücke, W. and von Hörsten, D. (2004) Design and development of a new combine straw chopper with huge spreading range. In: *EurAgEng 2004: Proceedings of the AgEng 2004 Conference, Belgium*.
- Lynch, J.M. (1977) Phytotoxicity of acetic acid produced in an anaerobic decomposition of wheat straw. *Journal of Applied Bacteriology* 10, 131–135.
- Lynch, J.M. (1978) Production of a phototoxicity of acetic acid in anaerobic soils containing plant residues. *Journal of Soil Biology* 10, 131–135.
- Lynch, J.M., Ellis, F.A.B., Harper, S.H.T. and Christian, D.G. (1980) The effect of straw on the establishment and growth of winter cereals. Agricultural Research Council report. *Agriculture and the Environment* 5, 321–328.
- Mai, T.V. (1978) The effects of drill coulters designs on soil physical properties and plant responses in untilled seedbeds. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 220 pp.
- Martin, D.L. and Thraikill, D.J. (1993) Moisture and humidity requirements for germination of surface seeded corn. *Applied Engineering in Agriculture* 9(1), 43–48.
- Mason, R.M., Page, J.R., Tullberg, J.N. and Buttsworth, R.K. (1995) The economics of controlled traffic: South Burnett case study. In: *Proceedings of the National Controlled Traffic Conference, Rockhampton, Queensland, 13–14 September*, pp. 109–114.
- McKenzie, A.F., Fan, M.X. and Cardin, F. (1998) Nitrous oxide emission in three years as affected by tillage, corn–soybeans–alfalfa rotations and nitrogen fertilization. *Journal of Environmental Quality* 27, 698–703.
- McQueen, D.J. and Shepherd, T.G. (2002) Physical changes and compaction sensitivity of a fine-textured, poorly drained soil (Typic Endoaquept) under varying durations of cropping, Manawatu Region, New Zealand. *Soil and Tillage Research* 63(3–4), 93–107.
- Meek, B.D., DeTar, W.R., Rolph, D., Rechel, E.R. and Carter, L.M. (1990) Infiltration rate as affected by an alfalfa and no-till cropping system. *Soil Science Society of America Journal* 54(2), 505–508.
- Meisner, C.A., Bodruzzaman, M., Amin, M.R., Baksh, E., Hossain, A.B.S., Ahmed, M. and Sadat, M.A. (2003) Conservation tillage options for the poor, small landholders in South Asia. In: *Conservation Agriculture, 2003*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Milne, G.D. and Fraser, T. (1990) Establishment of 1600 hectares of dryland species around Oamaru/Timaru. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association* 52, 133–137.
- Milne, G.D., Moloney, S.C. and Smith, D.R. (1993) Demonstration of dryland species on 90 east coast North Island farms. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 55, 39–44.
- Mitchell, J. (1983) Direct drilling project. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 20 pp.
- Mitchell, J.P., Munk, D.S., Prys, B., Klonsky, K.K., Wroble, J.F. and De Moura, R.L. (2004a) Conservation tillage cotton production systems in the San Joaquin Valley. In: *Proceedings of the Western States Conservation Tillage Conference, 8–9 September 2004, Five Points, California*. Kearney Agricultural Center, University of California Agriculture and Natural Resources, Parlier, California, pp. 57–64.
- Mitchell, J.P., Jackson, L. and Miyao, G. (2004b) *Minimum Tillage Vegetable Crop Production in California*. Publication 8132, University of California Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, 9 pp.
- Moens, R. (1989) Factors affecting slug damage and control measure decisions. In: Henderson, I. (ed.) *Slugs and Snails in World Agriculture*. Monograph 41, The British Crop Protection Council, Thornton Heath, pp. 227–236.
- Monegat, C. (1991) *Plantas de Cobertura do Solo. Características e manejo em pequenas propriedades*. Chapecó, Brazil, 337 pp.
- Morrison, J.E. (1988a) Interactive planter depth control and pneumatic downpressure system. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31(1), 14–18.
- Morrison, J.E. (1988b) Hydraulic downpressure system performance for conservation planting machines. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31(2), 19–23.
- Morrison, J.E., Allen, R.R., Jr, Wilkins, D.E., Powell, G.M., Grisso, R.D., Erbach, D.C., Herdon, L.P., Murray, D.L., Formanek, G.E., Pfost, D.L., Herron, M.M. and Baumert, D.J. (1988) Conservation planter, drill and air-type seeder selection guidelines. *Applied Engineering in Agriculture* 4(4), 300–309.
- Mosier, A., Shimel, D., Valentine, D., Bronson, K. and Parton, W. (1991) Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350, 330–332.
- Mosier, A., Kroez, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. and Van Cleemput, O. (1998) Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225–248.

- Nichols, K.A. and Wright, S.F. (2004) Contributions of soil fungi to organic matter in agricultural soils. In: Magdoff, F. and Weil, R. (eds) *Functions and Management of Soil Organic Matter in Agroecosystems*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 179–198.
- Nix, J. (2001) *Farm Management Pocketbook*, 31st edn. Imperial College at Wye, Ashford, Kent, UK, 256 pp.
- Pangnakorn, U., George, D.L., Tullberg, J.N. and Gupta, M.L. (2003) Effect of tillage and traffic on earthworm populations in a vertisol in South-East Queensland. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*, Elsevier, Netherlands, pp. 881–885.
- Papendick, R.I., McCool, D.K. and Krauss, H.A. (1983) Soil conservation: Pacific Northwest. In: Dregne, H.E. and Willis, W.O. (eds) *Dryland Agriculture*. Agronomy Monograph 23, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wisconsin.
- Paul, E., Paustian, K., Elliott, E.T. and Cole, C.V. (eds) (1997) *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., VanNoordwijk, M. and Woomer, P.L. (1997a) Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use Management* 13, 230–244.
- Paustian, K., Collins, H.P. and Paul, E.A. (1997b) Management controls on soil carbon. In: Paul, E.A. *et al.* (eds) *Soil Organic Matter in Temperate Agroecosystems: Long-term Experiments in North America*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 15–49.
- Pellow, R.W. (1992) The potential for transplanting seedlings by no-tillage. Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 87 pp.
- Pidgeon, J.D. (1981) A preliminary study of minimum tillage systems (including broadcasting) for spring barley in Scotland. *Soil and Tillage Research* 1, 139–151.
- Poesen, J., Wesenael, B., Govers, G., Martinez-Fernandez, J., Desmet, B., Vandaele, K., Quine, T. and Degraer, G. (1997) Patterns of rock fragment covered generated by tillage erosion. *Geomorphology* 18, 193–197.
- Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) (1993) *Pasture Renovation Manual*. AgResearch. Hamilton, New Zealand, 151 pp.
- Praat, J.P. (1988) A study of seeding depth with direct drilled peas. Dissertation, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand, 78 pp.
- Praat, J.P. (1995) Row spacing and seedling rate interactions in perennial ryegrass and tall fescue swards established by direct drilling. PhD thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 213 pp.
- Pradhan, G., Khan, S.U., Justice, S. and Gami, V.K. (1997) Farmer participatory research on the Chinese hand tractor. In: Hobbs, P. and Rajbandari, N. (eds) *Proceedings of the Rice–Wheat Research End-of-Project Workshop, 1–3 October 1997, Hotel Shangrila, Kathmandu, Nepal*. Nepal Agricultural Research Council (NARC), International Maize and Wheat Improvement Centre (CIMMYT) and Rice–Wheat Research Consortium, Mexico DF.
- Prior, S.A., Runion, G.B., Torbert, H.A., Rogers, H.H. and Reeves, D.W. (2003) Effects of elevated atmospheric CO₂ on biomass production and C sequestration: conventional and conservation cropping systems. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 943–947.
- Radford, B.J., Davis, R.J., McGarry, D., Pillai, U.P., Rickman, J.F., Walsh, P.A. and Yule, D.F. (2000) Changes in the properties of a Vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil and Tillage Research* 54, 155–170.
- Radford, B.J., Wilson-Rummenie, A.C., Simpson, G.B., Bell, K.L. and Ferguson, M.A. (2001) Compacted soil affects soil macrofauna populations in a semi-arid environment in central Queensland. *Soil Biology and Biochemistry* 33(12–13), 1869–1872.
- Radford, R. and Yule, D. (2003) Compaction persists for five years after cessation of wheel traffic on a Vertisol in Central Queensland. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*. Elsevier, Netherlands, pp. 949–954.
- Ralisch R. *et al.* (1998) In: *Encontro Latinoamericano de Plantio Direto NA Pequena Propriedade, III*. IAPAR, Pato Branco.
- Rasmussen, P.E. and Rohde, C.R. (1988) Long-term tillage and nitrogen fertilization affects on organic N and C in a semi-arid soil. *Soil Science Society of America Journal* 44, 596–600.
- Rawson, H.M. (2004) *Report of the Team Leader, FAO Second Mission: March 9 to April 13, 2004. Project Titled 'Intensification of Sustainable Production of Wheat and Rice–Wheat Systems'*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

- Reicosky, D.C. (1990) Canopy gas exchange in the field: closed chambers. *Remote Sensing Reviews* 5(1), 163–177.
- Reicosky, D.C. (1997) Tillage-induced CO₂ emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 273–285.
- Reicosky, D.C. (1998) Strip tillage methods: impact on soil and air quality. In: Mulvey, P.J. (ed.) *Environmental Benefits of Soil Management. Proceedings of the ASSSI National Soils Conference, Brisbane, Australia*, pp. 56–60.
- Reicosky, D.C. (2001a) Conservation agriculture: global environmental benefits of soil carbon management. In: Garcia-Torres, L. *et al.* (eds) *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. XUL, Cordoba, Spain, pp. 3–12.
- Reicosky, D.C. (2001b) Tillage-induced CO₂ emissions and carbon sequestration: effect of secondary tillage and compaction. In: Garcia-Torres, L. *et al.* (eds) *Conservation Agriculture: A Worldwide Challenge*. XUL, Cordoba, Spain, pp. 265–274.
- Reicosky, D.C. and Lindstrom, M.J. (1993) Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. *Agronomy Journal* 85, 1237–1243.
- Reicosky, D.C. and Lindstrom, M.J. (1995) Impact of fall tillage on short-term carbon dioxide flux. In: Lal, R. *et al.* (eds) *Soils and Global Change*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 177–187.
- Reicosky, D.C., Wagner, S.W. and Devine, O.J. (1990) Methods of calculating carbon dioxide exchange rates for maize and soybean using a portable field chamber. *Photosynthetica* 24(1), 22–38.
- Reicosky, D.C., Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas, C.W., Jr and Rasmussen, P.E. (1995) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 253–261.
- Reicosky, D.C., Kemper, W.D., Langdale, G.W., Douglas, C.W. Jr., Rasmussen, P.E. (1996) Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Proceedings National No-Tillage Conference, St Louis, Missouri, USA*. 07–105. Lessiter Publications, Brookfield, Wisconsin.
- Reicosky, D.C., Evans, S.D., Cambardella, C.A., Allmaras, R.R., Wilts, A.R. and Huggins, D.R. (2002) Continuous corn with moldboard tillage: residue and fertility effects on soil carbon. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(5), 277–284.
- Ribeiro, M.F.S. (2004) *Farmer's Perception, Impacts and Dissemination Issues of Conservation Agriculture/Labour Saving Technologies. Report of IFAD/FAO/DMC. Case Study in Tanzania*, 61 pp.
- Ribeiro, M.F.S., *et al.* (1993) Implicacoes do plantio direto em pequenas propriedades no Centro-Sul do Parana. In: *Encontro Latinoamericano sobre Plantio Direto na Pequena Propriedade 1*. Instituto Agronomico do Parana, Ponta Grossa, Brazil, pp. 271–280.
- Ribeiro, M.F.S., Benassi, D.A., Siqueira, E.M., Milleo, R.D.S., Hennerich, J.E., Richter, S. and Kriek, R. (1998) Avaliação de semeadoras de plantio direto a tração animal, safra 1999/2000. In: *Encontro Latinoamericano de Plantio Direto NA Pequena Propriedade, III, 1998*. IAPAR, Pato Branco.
- Ritchie, W.R. (1982) Aspects of seed transfer within a direct drilling coulter (opener). Thesis, Massey University Library, Auckland, New Zealand, 148 pp.
- Ritchie, W.R. (1986a) Pasture renovation by overdrilling. *Proceedings of the New Zealand Grasslands Association* 47, 159–164.
- Ritchie, W.R. (1986b) Pasture renovation or pasture renewal: *New Zealand Dairy Farming Annual* 136–143.
- Ritchie, W.R. (1988) Turf renovation – an equipment viewpoint. *New Zealand Turf Management Journal* 2(1), 20–22.
- Ritchie, W.R. and Baker, C.J. (1987) A field programme for evaluating direct drilling technology. *Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand* 17, 77–82.
- Ritchie, W.R. and Cox, T.I. (1981) Towards precision sowing in uncultivated ground. In: *Proceedings of the Conservation Tillage Technical Seminar, Christchurch, New Zealand*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 123–132.
- Ritchie, W.R., Wrigley, M.P. and Hill, K. (1994) The seed-rate debate – the last word? *New Zealand Turf Management Journal* August, 26–27.
- Ritchie, W.R., Baker, C.J. and Hamilton-Manns, M. (2000) *Successful No-tillage in Crop and Pasture Establishment*. Caxton Press, New Zealand, 96 pp.
- Rizzardi, M., Boller, W. and Dalloglio, R. (1994) Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 29(8), pp.1231–1236.
- Robert, M. (1996) Aluminum toxicity a major stress for microbes in the environment. In: Huang, P.M. *et al.* (eds) *Environmental Impacts, Vol. 2, Soil Component Interactions*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 227–242.

- Robertson, G.P., Paul, E. and Harwood, R.R. (2000) Greenhouse gases in intensive agriculture: contribution of individual guesses to the radiate of forcing of the atmosphere. *Science* 289, 1922–1925.
- Robinson, G.S. (1957) What pastures should be overdrilled? In: *Massey Agricultural College Dairy Farmers' Conference, New Zealand*, pp. 71–76.
- Robinson, G.S. and Cross, M.W. (1957) Overdrilling pumice pastures. *New Zealand Journal of Agriculture* 95, 283–288.
- Ross, C. (2001) *A Tick for No-till*. Soil Horizons Issue 5, Manaaki Whenua – Landcare Research, Lincoln, New Zealand.
- Ross, C. (2002) The structure and function of untilled soils. In: *Proceedings of the Monsanto Conservation Agriculture Seminars, February, Taupo and Ashburton*. Monsanto (NZ) Ltd, Johnsonville, New Zealand, pp. 27–37.
- Ross, C., Saggarr, S., Yeates, G.W., Dando, J. and Shepherd, T.G. (2000) Soil quality under long-term cropping by no-tillage and conventional cultivation, and permanent pasture in the Manawatu. In: *Extended Abstracts, Proceedings of the NZSSS/ASSSI Soil 2000 Conference, 3–8 December, Lincoln University*. New Zealand Society of Soil Science and Australian Society of Soil Science.
- Ross, C., Dando, J., Saggarr, S., Yeates, G. and Shepherd, T.G. (2002a) Soil quality under long-term cropping by no-tillage compared with conventional cultivation, and with permanent pasture. In: *Proceedings Soil Quality and Sustainable Land Management Conference, NZ Association Resource Management, 3–5 April 2002*. Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 41–45.
- Ross, C., Saggarr, S., Yeates, G., Dando, J. and Shepherd, T.G. (2002b) Soil quality under long-term cropping by no-tillage compared with conventional cultivation and permanent pasture. In: Currie, L.D. and Loganathan, P. (eds) *Dairy Farm Soil Management*. Occasional Report No. 15, Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp. 119–126.
- Row, C., Sampson, R.N. and Hair, D. (1996) Environmental and land-use changes from increasing forest area and timber growth. In: Sampson, R.N. and Hair, D. (eds) *Forest and Global Change, Vol. 2: Forest Management Opportunities for Mitigating Carbon Emissions*. American Forests, Washington, DC.
- Rice–Wheat Consortium (RWC) Website. Available at: <http://www.rwc-prism.cgiar.org/rwc>
- Ryan, D.L., Hay, R.J.M. and Baker, C.J. (1979) Response of some ryegrass cultivars to over-drilling in Southland. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 40, 136–144.
- Sa, J.C.D., Cerri, C.C., Dick, W.A., Lal, R., Venske, S.P., Piccolo, M.C. and Feigl, B.E. (2001) Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 65, 1486–1499.
- Sah, R.P., Tripathi, J., Sah, G. and Bhattarai, S. (2004) National Coordinators Report for the Regional Technical Coordination Committee, RWC. In: *Proceedings of RSC/RTCC Meeting, Islamabad, Pakistan, January 2004*.
- Salmon, R. (2005) Brassica seed treatment trials. In: *Proceedings of Cross Slot No-Tillage Systems Annual Conference*, Methven, New Zealand. Baker No-Tillage Ltd, Feilding, New Zealand.
- Sangoi, L. (1990) Arranjo de plantas e características de genótipos de milho em solos níveis de fertilidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 25(7), 945–953.
- Saxton, K.E. (1988) Conservation of soil water by residue and tillage. In: *Proceedings of the International Commission on Irrigation and Drainage Symposium*. Vol. 4, *Regional and Local Water Management Systems*. Dubrovnik, Yugoslavia, pp. 291–298.
- Saxton, K.E. (1990) Criteria for conservation-tillage and the cross-slot opener. In: *Proceedings of the 12th Annual Manitoba North Dakota Zero-Tillage Workshop, January 17–19, Bismark, North Dakota, USA*, pp. 69–80.
- Saxton, K.E. and Baker, C.J. (1990) The Cross Slot drill opener for conservation tillage. In: *Proceedings of the Great Plains Conservation Tillage Symposium, Bismark, North Dakota, USA*, Great Plains Agricultural Council Bulletin No. 131, Bismark, North Dakota, pp. 65–72.
- Saxton, K.E., Bristow, K.L., Omer, M.A. and Flerchinger, G.N. (1988a) Tillage and crop residue management for water conservation. In: *Proceedings International Conference on Dryland Farming, Amarillo, Texas, USA*. Texas Agricultural Experiment Station, Bushland, Amarillo, Texas, pp. 493–497.
- Saxton, K.E., McCool, D.K. and Kenny, J.F. (1988b) Tillage and residue impacts on infiltration. In: *Conference Proceedings of International Conference on Infiltration Development and Application, Honolulu, Hawaii, USA*, pp. 508–516.
- Sayre, K.D. and Hobbs, P.R. (2004) The raised-bed system of cultivation for irrigated production conditions. In: Lal, R., Hobbs, P., Uphoff, N. and Hansen, D.O. (eds) *Sustainable Agriculture and the Rice–Wheat System*. Ohio State University, Columbus, Ohio, pp. 337–355.

- Schimitz, H., Sommer, M. and Walter, S. (1991) *Animal Traction in Rainfed Agriculture in Africa and South America: Determinants and Experiences*. GATE/GTZ, Wiegand, pp. 102–103.
- Schlesinger, W.H. (1985) Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: Trubalova, J.R. *et al.* (eds) *The Changing Carbon Cycle: A Global Analysis*. Springer Verlag, New York, pp. 194–220.
- Schumacher, T.E., Lindstrom, M.J., Schumacher, J.A. and Lemme, G.D. (1999) Modelling spatial variation and productivity due to tillage and water erosion. *Soil and Tillage Research* 51, 331–339.
- Scotter, D.R. (1976) Liquid and vapour phase transport in soil. *Australian Journal of Soil Research* 14, 33–41.
- Shepherd, T.G., Parshotam, A. and Newman, R.H. (2006) Dynamics of organic carbon fractions and physical properties of a clayey soil continuously cropped and then returned to pasture. *European Journal of Soil Science* (in press).
- Siqueira, R. and Araújo, A.G. (1999) Máquinas para o manejo mecânico das plantas e dos resíduos culturais. In: Castro Filho, C. and Muzilli, O. (eds) *Uso e Manejo dos Solos de Baixa Aptidão Agrícola*. IAPAR Circular Técnica, Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Brazil, pp. 124–138.
- Siqueira, R. and Casão, R., Jr (2004) *Trabalhador no cultivo de grãos e oleaginosas: máquinas para manejo de coberturas e sementeira no sistema plantio direto*. SENAR, Curitiba, Brazil, 87 pp.
- Sisti, C.P.J., dos Santos, H.P., Kohmann, R., Alves, B.J.R., Urquiaga, S. and Boddey, R.M. (2004) Changing carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 76, 39–58.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. and Paustian, K. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil* 241, 155–176.
- Six, J., Ogle, S.M., Breidt, F.J., Conant, R.T., Mosier, A.R. and Paustian, K. (2004) The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long-term. *Global Change Biology* 10, 155–160.
- Skidmore, E.L., Kumar, M. and Larson, W.E. (1979) Crop residue management for wind erosion control in the Great Plains. *Journal of Soil and Water Conservation* 34, 90–94.
- Smith, O.H., Petersen, G.W. and Needelman, B.A. (2000) Environmental indicators of agroecosystems. *Advances in Agronomy* 69, 75–97.
- Smith, P., Powlson, D.S., Glendining, M.J. and Smith, J.U. (1998) Preliminary estimates of the potential for carbon mitigation in European soils through no-till farming. *Global Change Biology* 4, 679–685.
- Soane, B.D. (1990) The role of organic matter in the soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16, 179–202.
- Spoor, G. (1994) Application of mole drainage in the solution of subsoil management problems. In: Jayawardane, N.S. and Stewart, B.A. (eds) *Advances in Soil Science: Subsoil Management Techniques*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, pp. 67–107.
- Spoor, G., Tijink, F.G.J. and Weisskopf, P. (2003) Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* 73, 175–182.
- Stibbe, E., Terpstra, R. and Kouwenhoven, J.K. (1980) Effect of spring tillage on seedbed characteristics. Plant establishment and yield of silage corn on a light sandy soil. *Soil and Tillage Research* 1, 47–57.
- Stockfisch, N., Forstreuter, T. and Ehlers, W. (1999) Ploughing effects on soil organic matter after 20 years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. *Soil and Tillage Research* 52, 91–101.
- Thom, E.R., Sheath, G.W., Bryant, A.M. and Cox, N.R. (1986) Renovation of pastures containing paspalum: 1. Persistence of overdrilled ryegrass and prairie grass and effect on seasonal pasture production. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 29, 575–585.
- Thom, E.R. and Ritchie, W.R. (1993) Banded versus blanket spraying and direct drilling. In: Pottinger, R.P., Lane, P.M.S. and Wilkins, J.R. (eds) *Pasture Renovation Manual*. AgResearch, Ruakura, Hamilton, New Zealand, pp. 55–58.
- Thompson, C. (1993) The interactions between machine design and soil conditions influencing in-groove vertical seed placement by the Bioblade direct drill. Thesis, Department of Agricultural Engineering Library, Massey University, Auckland, New Zealand.
- Tisdall, J.M. (1996) Formation of soil aggregates in the accumulation of soil organic matter. In: Carter, M.R. and Stewart, B.A. (eds) *Structure and Soil Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. Advances in Soil Science, CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 57–96.
- Torbert, H.A. and Reeves, D.W. (1995) Traffic and residue management systems: effects on fate of fertilizer N in corn. *Soil and Tillage Research* 33(3–4), 197–213.

- Tracy, P.W., Westfall, D.G., Elliott, E.T., Peterson, G.A. and Cole, C.V. (1990) Carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur mineralization in plow and no-till cultivation. *Soil Science Society of America Journal* 54, 457–461.
- Unger, P.W. (1996) Soil bulk density, penetration resistance, and hydraulic conductivity under controlled traffic conditions. *Soil and Tillage Research* 37(1), 67–75.
- United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat (1997) *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat, Bonn, Germany.
- Uri, D.M. (2000) An evaluation of the economic benefits and costs of conservation tillage. *Environmental Geology* 39, 238–248.
- Van Raij, B., Silva, N.M., Bataglia, O.C., Quaggio, J., Hiroce, R., Cantarella, H., Belinazzi, J.R., Jr, Dechen, A.R. and Trani, P.E. (1985) *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Boletim Técnico 100, Instituto Agronômico, Campinas, Brazil, 107 pp.
- Veseth, R., Saxton, K.E. and McCool, I.K. (1993) Tillage and residue management strategies for variable cropland. In: *Proceedings. Precision Farming Variable Cropland for Profit and Conservation, Pullman, Washington, USA*, pp. 33–45.
- Vinther, F.P. (1992) Measured in simulated denitrification activity in a cropped sandy and loamy soil. *Biology and Fertility of Soils* 14, 43–48.
- Waggoner, M.G. and Denton, H.P. (1989) Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Science Society of America Journal* 53(4), 120–121.
- Wakelin, A.M., Lorraine-Colwill, D.F. and Preston, C. (2004) Glyphosate resistance in four different populations of *Lolium rigidum* is associated with reduced translocation of glyphosate to meristematic zones. *Weed Research* 44, 453–459.
- Walsh, M.J. (2002) Growing the market: recent developments in agricultural sector carbon trading. In: Kimble, J.M. et al. (eds) *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 375–385.
- Wander, M.M., Bidar, M.G. and Aref, S. (1998) Tillage impacts on depth distribution of total and particular organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1704–1711.
- Wang, X., Gao, H.W. and Li, H.W. (2003) Runoff and soil erosion from farmland under conservation tillage. In: *Proceedings of the International Soil Tillage Research Organisation 16th Triennial Conference, Brisbane, 13–18 July*, Elsevier, Netherlands, pp. 1347–1353.
- Webb, B., Blackwell, P., Riethmuller, G. and Lemon, J. (2000) *Tramline Farming Systems Technical Manual*. Bulletin 4607, Department of Agriculture, Western Australia, Perth, 88 pp.
- West, T.O. and Marland, G. (2002) A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 91, 217–232.
- West, T.O. and Post, W.M. (2002) Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1930–1946.
- Wilkins, D.E., Bolton, F. and Saxton, K.E. (1992) Evaluating seeders for conservation tillage production of peas. *Applied Engineering in Agriculture* 8(2), 165–170.
- Wolkowski, R.P. (1990) Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability and crop growth: a review. *Journal of Production Agriculture* 3(4), 460–469.
- Wolkowski, R.P. (1991) Corn growth response to K fertilization on three compacted soils. *Soil and Tillage Research* 21, 287–298.
- Wuest, S.B. (2002) Water transfer from soil to seed: the role of vapor transport. *Soil Science Society of America Journal* 66(6), 1760–1763.
- Yano, E.H. and Mello, L.M.M. (2000) Tamanho do fragmento de guandú (*Cajanus cajan*) manejado com triturador de palhas, rolo-faca e roçadora. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29, Fortaleza, Anais. Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola*.
- Yavuzcan, H.G. (2000) Wheel traffic impact on soil conditions as influenced by tillage system in Central Anatolia. *Soil and Tillage Research* 54(3–4), 129–138.
- Young, D.L., Kwon, T.J. and Young, F.L. (1994) Profit and risk for integrated conservation farming systems in the Palouse. *Journal of Soil and Water Conservation* 49(6), 601–606

Índice alfabético

- Abresurcos, 41
- aberturas horizontales, 60-66
 - comparaciones, 33, 69, 197-200
 - control de profundidad, 122-123
 - diseño, 250
 - distancia entre, 186-188, 228
 - disturbio del suelo, 7-8, 126, 191-196, 286-287
 - disturbio mínimo, 191-192
 - evaluación de riesgo de los diseños, 33
 - formas mecánicas de, 47
 - goteo de herbicida, 218, 219
 - labranza cero en pequeña escala, 251-252
 - manejo de residuos, 174-189, 201
 - clavado, 175-176
 - mecanismos de penetración, 128-135, 139
 - pruebas aceleradas de desgaste, 354, 355
 - ranuras verticales, 42-43
 - rebote, 127, 140
 - regeneración de pasturas, 211-212, 213-214
 - resultados óptimos, 119
 - seguimiento de la superficie, 29, 122, 130, 226
 - semillas a medida, 351-352
 - subir y bajar, 227
 - surcadores, 58-60
 - tráfico controlado, agricultura, 293-294
- Abresurcos *véase también* tipos de abresurcos, ej. de disco; tipo azada
- Abresurcos «Baker boot», 62, 63, 220
- Abresurcos de ala en T invertida, 61-63, 229, 230
- aplicación de herbicida, 218, 219
 - barra de arrastre, 134-135
 - colocación de fertilizante, 64, 65, 144-147, 149-151
 - doble o triple vástago, 63, 64
 - profundidad de siembra, 122
- [Abresurcos de ala en T invertida]
- rebote, 127
 - regeneración de pasturas, 213-214, 219-221
 - sistema «Baker boot», 62, 63, 220
 - suelos húmedos, función, 103-106, 108, 110, 111, 116-117
 - versión disco, 34, 64, 65-66, 152, 196, 292-293
- Abresurcos de azada, colocación de pequeños aparatos, 83-86
- Abresurcos de dientes, 251-252, 257
- Abresurcos movidos por la toma de fuerza, 54-55
- daños causados por las piedras, 55-56
 - labranza cero en pequeña escala, adaptación, 257-258
 - manejo de residuos, 54, 174
 - profundidad de siembra, 133
 - suelos húmedos, 103, 108, 110, 111
- Abresurcos tipo azada, 52-54, 69
- colocación de fertilizantes, 153, 154
 - colocación de semillas, 126-127
 - disturbio del suelo, 126
 - manejo de residuos, 54, 174-175
 - ranura con cobertura, 80, 81-83
 - rebote, 127
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - requisitos de fuerza, 230
 - sobrevivencia superficial, 91
 - suelos húmedos, 102-103, 109, 110-111, 114
- Abresurcos tipo disco
- agricultura con tráfico controlado, 293-294
 - apretado de los residuos, 126
 - comparación de características, 33, 196, 199-200
 - doble disco, 69
 - angulado, 49-50, 102

- [Abresurcos tipo disco, doble disco]
 - – colocar semillas, 126, 127
 - – distintos tamaños, 43, 44
 - – excéntrico, 43, 43
 - – inclinados, 48
 - – pequeña escala, 253
 - fuerzas de penetración, 182, 187
- Abresurcos tipo disco angular, 33, 42-47, 176, 233
- Abresurcos *véase* tipo azada
- Abresurcos verticales, 140
- Abresurcos vibradores, 60
- Ácido acético, 111, 112, 195, 196
- Acumulación de carbono en el suelo, beneficios, 320-321
- Agricultores
 - almacenamiento de carbono en el suelo, 321
 - cultivos forrajeros, 204
 - precisión (riesgo) en la labranza cero, 21, 223-224
- Agricultura con residuos, definición, 4
- Agricultura con tráfico controlado
 - beneficios, 285-286, 308
 - cambios permanentes, 301-303
 - definición, 285
 - diseño de campo/manejo de sistema, 300-301
 - economía, 304-307, 308
 - implementación, 296-298
 - implicaciones para operaciones de labranza cero, 290-294
 - implicaciones para suelos y cultivos, 294-296
 - limitaciones, 296
 - planificación, 296
 - principios, 296
- Agricultura de conservación, 14-15
 - definición, 4, 14
 - principios, 14-15
- Agricultura intensiva, principios, 277-278
- Agricultura sostenible, 4, 13
- Agua, hidróxido de amonio, 150, 157
- Agua/humedad del suelo, 7, 18, 96, 193
- Agua/humedad del suelo y germinación de las semillas, 88-89
 - fase líquida, 89, 90
 - germinación de las semillas, capacidad de retención de agua, 8, 17, 18
 - – fase de vapor, 88-89, 198
 - germinación de las semillas y fauna del suelo, 26
 - germinación de las semillas y ranura con cobertura, 75-77, 78
 - infiltración, 7, 21, 115-117, 195
 - medición experimental, 342-343
 - pérdida, 87-88
- Ahorro de tiempo, 7
- Aire comprimido *véase* compactación del suelo, 130-131
- Aireación del suelo, 7, 109, 112, 113, 334-335
- Alambre, 26
- Alelopatía, 196
- Algodón, 5, 295
- Alisado, 101, 102, 103, 112
 - compactación, 349
 - – abresurco tipo disco, 199
- Almacenamiento y entrega de los productos, 241-243
- Amoniaco, escape de, 151
- Ancho de las operaciones, 223-224, 225
- Ancho de los equipos, 297-300
- Animales, daño por el pisoteo, 205, 206
- Animales salvajes, 163
- Arado de vertedera, 19
- Arado de vertedera *véase también* labranza (convencional)
- Arado de vertedera y emisiones de carbono, 23, 311-312
- Arado «Fucador», 257
- Arroz,
 - melgas en seco, 265
- Arroz-trigo, rotaciones, 265
- Arroz bajo labranza cero, 260, 261
- Arvejas, 96, 165, 328
- Asia, área de la pobreza, 267
 - labranza cero en pequeña escala, 258, 272
 - pobreza en, 266
 - tecnologías de transición, 267
- Avena
 - *Avena fatua*, 292
 - Avena negra, 172-173
 - *Avena strigosa*, *ver* avena negra, 172
- Babosas, 26, 280-282, 295
 - control, 280-282, 327
- Bandas, 123
- Bangladesh, 262, 266, 267, 268
- Barbecho químico, 3, 211
- Barras, cobertura, 81, 82, 83
 - paja, 167-168
- Barras portaherramientas
 - tractores de cuatro ruedas, 262
 - tractores de dos ruedas, 266-267
- Barro, desprendimiento de las ruedas, 125
- Bevin, Alsiter, 6
- Biocanales, 10, 141
- Biocombustibles, 22

- Bióxido de carbono
 – emisiones, 21, 23-24, 311
 – medidas de emisión, 312
- Borlaug, Norman, 2
- Brasil, 253, 318, 320
- Brassica, 205
 – colocación de fertilizante, 152
 – distanciamiento de las semillas, 135-136
 – profundidad de siembra, 121
- Bueyes, 266
- Cajanus cajan*, 173
- Cal, aplicación de, 278, 280
- Calidad del agua, 34
- Cama de semillas, 4
- Cambridge, rodillos, 79
- Campo, apariencia, 11
 – diseño, 300
- Capa freática en ascenso, 114
- Capa seca, 88
- Capas, polvo, 88
- Capas (fajas), 93
- Capas *ver también* residuos
- Capas y humedad del suelo, 89
- Carbón, contenido de plántulas, 155
 – suelo, *ver el carbono orgánico del suelo*
- Carbono, ciclo del, 22
 – comercio del, 23-24, 321-322
 – equivalentes (CE), 22
 – secuestro de, 23, 311, 317
 – – beneficios, 321-322
- Cationes, capacidad de intercambio de, 21
- Cebada de primavera, 295
- Cercospora, 295
- Cereales, producción mundial, 2
- Chlorpyrifos*, 280, 281, 283, 327, 328
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México), 262, 269, 271
- Circuito cerrado de televisión, 309
- Clima, 29-30, 34
- Cobertura vertical, 174, 189
- Colocación de semillas
 – abresurcos movidos por toma de fuerza, 54
 – superficie siembra a voleo, 67-68, 107, 108, 109, 113
- Colocación del fertilizante, 9, 10, 11, 27, 174-142, 216-217, 282
 – abresurcos con alas versión disco, 64, 65, 145, 149-150
 – abresurcos tipo disco, 48, 150
- [Colocación del fertilizante]
 – aparatos para dosificar el, 254-255
 – bandas, 142-144, 153-158, 133-134, 196
 – – fertilización a distancia, 156, 157, 158
 – bandas verticales/horizontales, 144-151
 – costos, 279, 334
 – labranza cero en pequeña escala, 251
 – método de «saltar», 153-155
 – raigrás, 216, 217
 – rendimiento de los cultivos, 150-156
 – siembra a voleo, 141, 142, 143, 281
 – técnicas experimentales, 356-357
 – tipos de abresurcos, 33, 34, 199
- Combustible, uso, 7, 23-24, 325-326, 329
- Compactación del suelo, 20, 102
 – comparación de abresurcos tipo disco, 199
 – pisoteo del animal, 205
 – tolerancia de las lombrices de tierra, 111
 – zona de la ranura, 46, 101, 195
- Compactación histórica, 6
- Comparaciones económicas
 – costo-beneficio de sembradoras avanzadas, 284-285, 325, 333, 334
 – Europa, 333-334
 – factores que inducen a error, 325-326
 – niveles para labranza cero, 325
 – Nueva Zelanda, 327-328
 – tráfico controlado de agricultura, 304-307, 308
 – labranza-labranza cero, 35-37
- Configuración del remolque, 236-238, 239
- Contacto suelo-semilla, 89-90, 97-98, 194-195
- Contaminación, 8
- Control automático de la fuerza de penetración, 133
- Control de maleza, 15, 274-275
 – arroz bajo labranza cero, 261
 – química, 32, 35, 166
 – tráfico controlado, agricultura, 292-293
 – tratamiento mecánico, 173
- Control de maleza *véase también* herbicidas
- Control de profundidad, 122-123, 199
- Cosechadora, 67-68
 – distribución de paja, 167, 168
- Costos, 8, 11
 – economía, 327-329, 335
 – operación, 331
 – regeneración de pasturas, 215-216
- Costos *ver también* comparaciones de costos
- Cuchillos rotativos, 169-173
- Cultivo, tierra retirada del, 207
- Cultivos, 223
 – fracaso de los, 7, 197

[Cultivos]

- modificación genética de los, 3
- rango de, 295-296
- Cultivos de cobertura muertos, 165, 174
- Cultivos forrajeros, 204

- Daño por pisoteo, 205-206
- Daños causados por las piedras, 55-56
- Daños del suelo, 205-207
 - desplazamiento, beneficios, 321-323
 - - calidad, 19-20
 - - capacidad de almacenamiento, 316
 - - carbono orgánico, 6, 14, 21
 - - erosión, 7, 18-19, 29-30
 - - labranza cero, 6, 17-17, 318-319, 321-322
 - - manejo de la fertilidad del suelo, 275, 280
 - - materia orgánica, 7, 17, 153
 - - medida, 348
 - - pérdidas gaseosas, 312-313
 - desplazamiento instantáneo, 348
- Denitrificación, 288
- Densidad, medida, 348
- Densidad de siembra, 276-277, 326
 - cálculo, 276
 - tráfico controlado, agricultura, 294-295
- Depreciación, 326, 228-229, 331
- Deroceras reticulatum* ver babosas
- Difusión de oxígeno
 - medidas experimentales, 343-345
 - suelos, 112, 114
- Diquat, 2
- Disco tipo abresurcos,
 - disco triple, 43-46, 69, 115, 229, 230
 - raspadores, 186, 187
 - siembra en suelos húmedos, 101, 106, 108-110
- Discos
 - arrastre por medición, 352-253
 - rastreo, 3
 - sembradoras en pequeña escala, 250
 - semillas expulsadas por, 125, 127
- Discos de borde ondulado «turbo discos», 45
- Diseño de la barra de arrastre, 133-134, 188-189
 - arreglo en diagonal, 188
 - carga de los brazos, 235
 - opciones para el enganche, 231-234
 - paralelogramo, 134-135, 220, 233-234
- Disponibilidad de expertos, 11, 333
- Distanciamiento de las semillas, 119-120, 135-140
 - colocación, 253
 - cultivos forrajeros, 182, 222

[Distanciamiento de las semillas]

- medida, 348
- sembradoras de precisión, 120, 137, 249
- sembradoras para labranza cero, 241-242
- Disturbio de suelo/ranura, 5-6, 126, 286-287
 - comparaciones abresurcos tipo disco, 196
 - efectos, 195-198
 - máximo, 193-195
 - mínimo, 191-194, 251
- Drenaje, 8, 274, 301
- Drenes topo, 301

- Emergencia de las plántulas
 - comparación de abresurcos tipo disco, 199, 200
 - suelos húmedos, 107-110
 - suelos secos, 94
- Emergencia de las plántulas y colocación de fertilizantes, 143-150, 156, 157
- Emergencia de las plántulas y profundidad de siembra, 121-122
- Emergencia de las plántulas y ranura con cobertura, 76-77, 78
- Emergencia de las plántulas y residuos, 107
- Encostrado, 101
- Enfermedades, 9, 26, 196
- Enfermedades, control de, 275
- Erosión eólica, 19
- Escorrentía, 18-19
- Espacimientto en el surco, 199
 - pasturas/especies forrajeras, 208-209, 210
- Estrés fisiológico, 27, 28
- Exudados alelopáticos, 27

- Faulkner, Edward, 6
- Fertilizantes
 - colocación de, 152-154
 - nitrógeno, 150, 319-320
 - tolvas, almacenamiento, 241-242
 - toxicidad, 32, 35, 142-143
- Festuca alta (*Festuca arundinacea*), 209-210
- Flexibilidad del tiempo, 7
- Formas de ranuras
 - horizontal, 60-66
 - microambiente, 33, 34, 193, 338-342
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - vertical, 42-60
- Formas de ranuras y emergencia de plántulas, 93-97
- Formas de ranuras y germinación de las semillas, 89, 90

- Formas de ranuras y humedad del suelo, 74-75, 91
 Formas de ranuras y sobrevivencia superficial, 90-93
 Fosfato diamónico, fertilizantes, 153, 154
 Fósforo del suelo, 8, 10, 288
 Frijol mungo, 271
 Fuerzas de penetración, 187-188, 199, 230
 – abresurcos movidos por toma de fuerza, 54-55
 – abresurcos vibradores, 60-61
 Fuerzas de penetración, disco tipo abresurco, 200
 Fuerzas de penetración, mecanismos de control, 127-135, 139, 199
 – rango, 199
 – restablecimiento, 234-235
 – sembradoras a gran escala, 229-233
 – sembradoras para labranza cero, 249-250
 Fuerzas de penetración variables, 228
- Gaeumannomyces graminis*, 26
 Gas-aceite, sistemas, 131-133, 135, 139-140
 Gases de invernadero, 311
 – aportación de la agricultura, 311
 – emisiones de nitrógeno, 319-320
 – política de créditos, 321-322
 Gases de invernadero *ver también* bióxido de carbono (CO₂)
 Germinación de las semillas, 28, 89, 90
 – disturbio mínimo de la ranura, 192-193
 – ranuras con cobertura, 76-77, 78
 Germinación de las semillas y colocación de fertilizantes, 149
 Germinación de las semillas y humedad del suelo, 89, 91
 Germinación *ver* germinación de las semillas
 Glifosato, 2, 218, 280, 281, 283
 – costos de uso, 327
 Glomalina, 316
Glycine max *ver* soja
 Gorgojo argentino del tallo, 280, 283
 «Green bridge» concepto, 26
 Green Fields Forever (Little), 1
 «Ground Hog», 280
- «Happy seeder» sembradora feliz, 265, 266, 272
 Herbicidas, 2, 10, 32, 34-35, 166
 – aspersión en banda, 212-221
 – costos de uso, 327
 – planificación de uso, 280
 – selección de, 275
 Herbicidas en bandas, aplicación, 212-216
 – – equipamiento, 218-220
 Hifas de los hongos, 316
 Humedad relativa (HR)
 – medición directa, 343
 – ranuras del suelo, 74-75, 193
- Imágenes con rayos X, 350, 351
 India, 262, 267
 Infiltración, 7, 21, 195
 – medición, 345
 – suelos húmedos, 114
 Insecticidas, 241-243
 Insumo
 – disminución, 16
 – energía, 21-22, 325-326
- Kyoto, protocolo de, 311, 321, 323
- Labranza cero, 6
 – agua en el suelo, 18
 – beneficios, 13-14
 – calidad del suelo, 19-20
 – conservación de equipos, 11, 330-331, 332-333
 – contratación, 37, 327, 332
 – definición, 3
 – emisiones y secuestro de carbono, 23-24
 – erosión del suelo, 18-19
 – insumo de energía, 21-22
 – materia orgánica del suelo, 17, 18, 222-324
 – orígenes, 3
 – producción de cultivos, 15, 22
 – reciclaje de nutrientes, 20
 – terminología, 39906
 Labranza cero en pequeña escala,
 – Asia, 258-260
 – beneficios, 247
 – características, 247
 – manejo de los residuos, 167-172
 – maquinaria, requisitos de potencia y facilidad de manejo, 255-256
 – – sembradoras en línea, 249-257
 – – tracción animal, 257, 260
 – – tractores de cuatro ruedas, 261-262
 – – tractores de dos ruedas, 266-272
 – maquinarias adaptadas para cultivadores a motor, 257

- Labranza convencional, 1-39
- capas superficiales, pisoteo, 205
 - cobertura para las semillas, 72-74
 - colocación de fertilizantes, 148
 - – respuesta, 141
 - costes, 35-36
 - emisiones de carbono, 23, 312-314
 - historia de, 198, 273-274
 - riesgo, 278
 - rotación de cultivos, 205
 - secuestro de carbono del suelo, 317, 318
 - suelos húmedos, 105
- Labranza de conservación, 4
- Labranza en caballones, 4
- Labranza en fajas, 4, 57, 74, 96, 174, 214, 257, 262
- labranza cero en pequeña escala, 269-272
 - manejo de residuos, 174
 - sembradoras para, 262-263, 264
- Labranza en fajas en melgas permanentes, 271
- Labranza en fajas y flujo del dióxido de carbono, 312, 313-314
- Labranza mínima, 4, 224, 333-335
- Labranza química, 4
- Laderas, 19, 51, 119, 242, 257
- Leguminosas
- distanciamiento de las semillas, 135-136
 - pastos, 217
 - rotación de los cultivos, 318-320
- Lentejas, 258
- Little, Charles, 1
- Lixiviación, 21
- Lluvias, 29
- monzones, 265
- Lluvias y emergencia de plántulas, 96-97
- Lolium perenne* véase raigrás
- Lolium rigidum* véase raigrás, 292
- Lombrices de tierra, 7, 11, 20, 26, 274
- aireación del suelo, 112, 113, 334-335
 - canales, 141
 - compactación y alisado, 112
 - efectos de la ausencia, 109-111
 - suelos húmedos, 103, 104, 106-111, 115
- Lombrices de tierra y disturbio de la ranura, 194
- Lombrices de tierra y residuos de la superficie, 106-107, 115
- Lupino (*Lupinus angustifolius*), 5, 78, 120, 121, 139
- Macroporos, 74, 104
- Maíz
- colocación de fertilizantes, 142, 143, 151-152
 - ranuras con cobertura, 77, 78
- Malezas, 8
- cambio de las especies dominantes, 10, 275
 - raigrás, 209-210
- Manejo
- capacidad del operador, 277
 - control de la maleza, 274-275
 - densidad de siembra, 276-277
 - fertilidad del suelo, 275, 280
 - pestes/enfermedades, control, 275
 - planificación, 278-279
 - prototipo y estrategias, 356-362
 - selección y preparación del lugar, 273-274
- Manejo de los caminos, ruedas, 301-302, 309
- Manejo de los residuos, abresurcos adyacentes, 186-188
- abresurcos de ala versión disco, 64-65
 - abresurcos movidos por toma de fuerza, 55, 175
 - abresurcos tipo azada, 54-55
 - abresurcos tipo disco, 126, 175-176, 180-185, 250, 257
 - apretado de la ranura, 112, 126, 175-176, 195-196, 197, 250, 257
 - comparaciones de abresurcos, 33, 34, 197
 - cultivos forrajeros, 161-162
 - disturbio máximo de la ranura, 193
 - pequeños agricultores, 257
 - raspadores/deflectores, 186, 187, 188
- Manejo de los residuos (micromanejo), 32, 174-189, 191-192
- Manejo post-siembra, 277
- Mano de obra, 7, 326
- Máquina «colear», 50
- Maquinaria, 8
- costo-beneficio de sembradoras avanzadas, 37-38, 284, 333, 334
 - costos de adquisición, 327-331
 - depreciación, 326, 328-329, 331
 - desgaste, 200, 289, 354, 355
 - funcionamiento de la, 31-32
 - rendimiento de los cultivos, impacto, 37-39
 - uniformización del ancho de los equipos, 297-300
- Maquinaria véase también tipo de equipo
- Maquinaria usada, 330-331, 332-333
- venta, 326
- Matraca (sembradoras mecánicas manuales), 248-249
- Medicago sativa*
- Melgas permanentes, 269
- Melones, 296
- Metano, 288, 321

- México, 265, 271
- Microambiente de las semillas dentro de la ranura, 33, 34, 193, 338-342
- Mineralización, 141, 152-153, 158
- Montmorilloníticas, 104
- Montones alineados, esparcimiento, 166-168
- Monzones, 265
- Nepal, 262, 267
- Nieve, 162
- Nitrógeno, 7
- contenido en plántulas cultivadas después de la fertilización, 155-156
 - fijación, 212
 - pérdida en el suelo, 21, 150, 288, 319-321
- Nitrógeno líquido, 158
- Niveladora, 280
- Nutrientes, disponibilidad, 141-142, 288
- estrés, 27
 - reciclaje, 20
- Operador
- capacidad del, 10, 277
 - maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256-257
- Paja, 168, 168, 175
- clavado con abresurcos, 175
 - cortar, 164, 177-178
 - corte en el campo, 178-183
 - distribución de, 166-168
 - niveles de, 114
 - rastrojos limpios, 162-163
 - residuos verticales, 178, 179
- Paja húmeda comparada con seca, 186
- Paraquat, 2, 35, 218
- Pastoreo, 161, 207-208
- mejora, 203
- Pastos (raigrás)
- distanciamiento de las semillas, 135-136
 - residuos, 107
- Pasturas, 161-162, 208-221
- altitud, 58
 - colocación de fertilizantes, 142, 216-217
 - manejo de residuos, 161-162
 - regeneración, 207-211
 - renovación, 211-221
 - valor de los agricultores, 203-204
- Pasturas nuevas bajo labranza cero, 8, 283
- Pasturas permanentes, 204
- Penetrómetro con puntas múltiples, 145-146
- Período de transición (conversión), labranza cero, 12, 16, 273-274
- Pesas, fuerza de penetración, 133, 249-250
- Pesticidas
- costos, 328
 - incorporación/manejo, 9, 243
- Picadora de forraje, 173
- Plagas, 9, 11, 15, 26
- control de, 275, 280, 281, 283, 327
- Planificación, 278-279, 297
- Plántulas
- estrés fisiológico, 27, 28
- Plántulas retorcidas, 282
- Plástico, ranuras con cobertura de fajas de, 93
- Ploughman's Folly (Faulkner), 6
- Post-siembra, manejo, 277
- Potencial de humedad de vapor cuantitativo (MVPC), 74-75
- Profundidad de siembra
- cultivos forrajeros, 221
 - medición experimental, 348
 - tabla de evaluación/sembradora, 33
 - tráfico controlado, agricultura, 294
 - uniformidad, 121-128
- Profundidad de siembra y emergencia de las plántulas, 120-121
- Pruebas de desgaste acelerado, 338, 355
- Punto permanente de marchitez, 74
- Rábano, 78
- plántulas, 147
- Rábano forrajero, 153, 154
- Rábanos de verano, 205
- «Rabi» sembradoras, 262, 268
- Raíces, bacterias de las, 26
- Raigrás
- pastos, 209-210
 - residuos, 106
 - suelos secos, 94
- Raigrás (*Lolium rigidum*), 292
- Ranura con cobertura, 119
- arrastre (rastra), 81, 82
 - características de los abresurcos/sembradoras, 33, 197
 - cierre automático, 128
 - clasificación, 71-74, 85
 - cobertura adecuada, 76, 78
 - compresión, 46, 79
 - desvío, 77-79

- [Ranura con cobertura]
- disturbio mínimo de la, 192-193
 - doblado, 84-85
 - en forma de V, 45-46, 76, 78
 - materia orgánica, 88
 - presión, 80-81, 97-98
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - rodillos, 79-80
 - suelo suelto, 71-74, 85
- Ranura con cobertura y emergencia de las plántulas, 76-77, 78
- Ranura con cobertura y pérdida de humedad, 74
- Ranura con cobertura y tamaño de las semillas, 76-77
- Ranuras en forma de U, 48-60
- abresurcos de discos angulados, 49-50
 - abresurcos tipo azada, 52-55
 - contacto suelo-semilla, 89-90
 - evaluación de riesgos, 33
 - pérdida de humedad, 74, 93
 - presión, 97
 - sobrevivencia superficial, 91, 92
 - suelos húmedos, 103, 108, 115, 116-117
- Ranuras en forma de U y emergencia de plántulas, 93-97
- Ranuras en forma de V, 42-48
- cobertura, 46-47, 77
 - contacto suelo-semilla, 89, 194-195
 - evaluación de riesgos, 33
 - pérdida de humedad, 74, 93
 - presión, 97-98
 - regeneración de pasturas, 213-214
 - sobrevivencia superficial, 90, 92
 - suelos húmedos, 45, 46, 102, 104, 108, 110, 111, 115-116
- Ranuras en forma de V inclinadas, 48
- Ranuras en forma de V y emergencia de plántulas, 93, 94
- Raspadores, limpieza de disco, 186, 187
- Rastrojos, 162-163
- Rendimientos de los cultivos, 7, 11, 15, 325
- agricultura con tráfico controlado, 294, 305-306
 - colocación de fertilizantes, 150-157
 - comparación de abresurcos tipo disco, 199
 - impacto de las máquinas, 37-38, 279
 - período de transición, 16
- Rentabilidad y variaciones climáticas, 30
- Requerimientos de energía, 21-23
- combustible, 7, 23-24, 325-326, 329
 - emisiones de carbono, 23
- Requerimientos de fuerza de arrastre
- equipos gran escala para labranza cero, 230
 - equipos para labranza cero en pequeña escala, 254-255
 - resistencia del suelo, 287
- Requerimientos de potencia
- maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256-257
 - sembradoras de precisión, 228, 229, 230
- Residuos
- cobertura, 5
 - descomposición, 26, 111, 141, 172
 - toxicidad de las semillas, 27, 111, 194-195
 - eliminación/quema de, 161, 166, 259
 - labranza cero en pequeña escala, 165-170
 - manejo de los, 161
 - manejo a escala de campo, 165-174, 191
 - manejo de planificación, 278, 283, 284
 - pisoteo de los, 291
 - raíces ancladas, 161-163
 - retención racional de los, 259
 - suelos húmedos, 107-109
 - tráfico controlado en agricultura, 290-292
- Residuos «basura», 11, 161
- Residuos «largos chatos», 189
- Residuos de los cultivos, ver manejo de residuos
- Residuos verticales, 178, 179, 189
- Residuos y entrega de las semillas, 137
- Residuos y erosión del suelo, 18, 29-30
- Residuos y flujo de dióxido de carbono, 312-313
- Residuos y lombrices de tierra, 106-107, 115
- Residuos y temperatura del suelo, 162, 194
- Resistencia del suelo, 8, 9, 28, 162, 194, 287
- compactación, 345-348
 - disponibilidad de nutrientes, 288
 - estructura, 7, 11
 - ranuras en forma de V, 42, 46
 - tráfico controlado, agricultura, 286-288, 290-291
- Rhizoctonia*, 26
- Riegos, necesidad de, 8
- Riesgo, 196
- clasificación de abresurcos, 33, 34, 197
 - labranza convencional, 276
 - manejo, 280
 - percepción del, 25
- Riesgo biológico, 25-29, 196
- Riesgo económico, 35-38
- Riesgo físico, 29-32
- Riesgo químico, 32-35

- Rodillos
- aplicación de herbicida, 218-220
 - ranura con cobertura, 79-80
- Rodillos de cuchillos, 171-173
- Rodillos en espiral, 83
- Rotaciones de los cultivos, 205
- arroz-trigo, 265
 - basados en leguminosas, 320
- Rotatorios para labranza, 55
- Rueda de sostenibilidad ambiental, 17
- Ruedas
- configuraciones, 236-238
 - control de profundidad, 122-123
 - desprendimiento de barro, 125
 - presión, 46, 79-81, 84, 227
- Ruedas combinadas compresoras/reguladoras, 47, 124, 227
- Ruedas compresoras, 46, 79-81, 84, 124, 227
- Ruedas compresoras anguladas, 84, 85
- Ruedas compresoras semineumáticas, 124-125
- Ruedas de los aparatos, 122-125, 139
- Ruedas reguladoras/compresoras, 79, 124, 227
- Ruedas semineumáticas (presión cero), 101, 124-125, 139
- Seguimiento de la superficie, 29, 122, 130-131
- fuerza de penetración, 127-135, 139
 - maquinaria a gran escala, 225, 228
 - tabla de evaluación/sembradoras, 33, 135, 136
- Seguridad humana y biológica, 3
- Selección del lugar, 273-274
- Sembradoras, 16-17, 120, 257, 258
- adaptación de tractores, 240-241
 - almacenamiento y entrega de los productos, 241-243
 - ancho de las operaciones, 223-224, 225-226, 297
 - barra de arrastre, 133-134, 188-189, 230-233, 234
 - fuerza de penetración, 128-135, 229-234
 - labranza reducida, 269, 270
 - precisión, 243
 - prototipos, 356-362
 - regeneración de pasturas, 219-221
 - requerimientos de potencia, fuerza de penetración, 228, 229, 230
 - riesgo de funcionamiento, 31
 - seguimiento de la superficie, 122, 128-136, 130, 136-137, 225-228
 - selección de la, 10
 - tractores de dos ruedas, 266
- [Sembradoras]
- transporte, 234-237, 239
 - velocidad de operación, 228
- Sembradoras avanzadas, costo-beneficio, 37-38, 284, 325, 333, 334
- Sembradoras de precisión, 120, 240-241
- Sembradoras de precisión (a golpe) con ruedas estrella, 263
- Sembradoras de precisión para tracción animal, 212
- Sembradoras diseñadas con resortes, 128-131
- Sembradoras mecánicas manuales, 205-206, 248-249
- Sembradoras para labranza cero en pequeña escala, 250-257
- Sembradoras para melgas, 263, 269, 271
- Sembradoras *ver también* abresurcos; sembradoras
- Semillas, calidad de las, 28-29
- cobertura, 67
 - quema de, 29, 32, 142, 153
 - rebote de las, 127, 140
 - toxicidad de las, 27, 111, 194-195
- Semillas de distanciamiento, labranza cero en pequeña escala, 252-253
- Semillas expulsadas, 125, 127
- Semillas *ver también* ranura con cobertura
- Semillas *ver* entrega de semillas que cubre la ranura, 136-139
- Siembra, 10, 281-282
- suelos húmedos, 101-105, 127
 - suelos secos, 89-98
- Siembra a golpes, 66-67, 68, 263-265
- mecánicas manuales, 248-249
 - suelos húmedos, operaciones, 107, 108, 110-111, 114
- Siembra césped/cobertura, 4
- Siembra en caballones y surcos, 263
- Siembra en surcos alternados «saltar», 153-154, 196
- Siembra sobre el césped, 4
- Siembra *ver* abresurcos
- Sistema diferencial de posición global (SDPG), 303
- costos, 308
- Sistema global de posición (GPS), 291, 309
- Sistemas de guía, 293, 303, 308
- costos, 304, 308
- Sistemas electrónicos, 303
- Sistemas integrados, cultivos en, 161, 205-207
- Sistemas radicales, 10

- Sobrevivencia superficial
- regeneración de pasturas, 213-214
- Sobrevivencia superficial y forma de ranuras, 89-90
- Sobrevivencia superficial y humedad del suelo, 342-343
- Sobrevivencia superficial y ranura con cobertura, 193
- Soja, 5, 127, 128, 156
- Soporte flotante, 125, 139
- Subsolador, 6, 280
- Suelo, paja sobre el, 163-164
- potasio sobre el, 8, 288
- Suelos arcillosos, 104
- Suelos húmedos, 101, 108
- comportamiento de los abresurcos, 111-117
 - infiltración, 115-117
 - perforación, 45, 101-102
 - ranura con cobertura, 78
 - residuos, 107-108
 - suelos secos que se vuelven húmedos, 106-107
- Suelos secos
- emergencia de plántulas, 93-97
 - experiencias de campo, 98
 - germinación de las semillas, 89-90
 - pérdida de humedad, 87-88
 - ranura con cobertura, 78, 97-98
 - ranuras en forma de V, 42
 - sobrevivencia superficial, 90-93
- Superficie, uniformización de la, 274
- Superficie de siembra a voleo, 33, 67-68, 107, 108, 109, 141, 142, 143, 150-153, 281-282
- Superfosfato potásico, 149
- Surcadores, 58, 60, 69
- Surcos, limpiadores de, 176
- Surcos angostos, cultivos en, 192
- Tamaño de la semilla y distanciamiento, 135-136
- Tamaño de la semilla y emergencia de las plántulas, 76-77
- Técnicas experimentales y procedimientos
- arrastre en un abresurco de disco, 352, 353
 - colocación de las semillas, 349-350
 - compactación y disturbio del suelo, 345-349
 - desgaste acelerado de abresurcos, 354, 355
 - efectos del fertilizante en bandas, 356
 - prototipos y estrategias de manejo, 356-362
 - ranuras, microambiente de las semillas, 342-345
- [Técnicas experimentales y procedimientos]
- recorridos de las semillas dentro de los abresurcos, 351-352
 - respuesta de las plantas para labranza cero, 338-341
- Tecnologías de transición, 267
- The Awakening (Bevin), 6
- Tierras labradas
- colocación de fertilizante, 150-152
 - estructura, 20
 - pérdida de humedad, 87-88
 - sobrevivencia superficial, 90-91
- T-invertida, 42, 60-62
- cobertura, 193
 - contacto semilla-suelo, 194-195
 - control de profundidad, 124
 - germinación de las semillas, 90
 - microambiente, 28
 - pérdida de humedad, 74, 75, 93
 - presión, 97
 - principio de, 60
 - regeneración de pasturas, 219-221
 - retención gaseosa, 150
 - riesgo biológico, 33
 - separación de semilla y fertilizante, 145, 146
 - sobrevivencia superficial, 90-92
 - suelos húmedos, 103-105, 107, 108, 110, 114
 - suelos secos, 98-99
- Tipo de suelo, 104
- Tolvas, 242-243
- productos, 242-245
- Toxicidad, 27
- descomposición de residuos, 27, 111, 196
 - fertilizante-semillas, 35, 142-143
- Tractores, 8
- adaptación a las sembradoras, 240-241
 - uniformización del ancho de los equipos, 297-300
- Tractores de cuatro ruedas, 261-262
- Tractores de dos ruedas, 266-272
- Traficabilidad, 8, 29-30
- Tráfico, 236, 287-288
- Tráfico controlado de doble huella, sistema de, 298-299
- Trébol, 212
- Trébol rojo, 120-121, 139
- Trifolium pratense* ver trébol rojo
- Trigo
- colocación de fertilizante, 153, 154, 155, 156
 - profundidad de siembra, 121
 - ranura con cobertura, 78

[Trigo]

- riesgo económico en la producción de labranza cero, 37-39
- sembradoras para melgas, 263-265
- suelos secos, 94

Triticum aestivum véase trigo

Urea, fertilizantes, 149-150, 157

Valle de Yaqui, México, 263

Velocidad de operación, 51

- maquinaria a gran escala, 225, 228
- maquinaria para labranza cero en pequeña escala, 256

Zea mays ver maíz

Zona de labranza ver labranza en fajas

Siembra con labranza cero en la agricultura de conservación

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

Este libro es una edición ampliada del volumen previo publicado en 1996 *No-tillage Seeding: Science and Practice*. El objetivo principal continúa siendo la descripción, en términos simples de varios experimentos internacionales diseñados para examinar las causas de los éxitos y los fracasos de la labranza cero. Este libro resume las ventajas y desventajas de la labranza cero en términos generales pero aprecia que la amplia adopción de la labranza cero ha sido ya hecha por otros. Si bien los autores han estado involucrados en el diseño de nuevos equipos, esta segunda edición no intenta promocionar ningún producto en particular pero remarca los puntos favorables y desfavorables de varias características y opciones.

Los aspectos añadidos o cubiertos en más detalle en esta edición incluyen:

- El carbono del suelo y cómo su retención o secuestro interactúa con la labranza convencional y la labranza cero.
- El control del tráfico en la finca como un agregado a la labranza cero.
- Comparación del comportamiento de los diseños de los abresurcos genéricos para labranza cero.
- La función del fertilizante en bandas en la labranza cero.
- La economía de la labranza cero.
- El equipo usado por los pequeños agricultores.
- El cultivo de forrajes en el sistema de labranza cero.
- Un método para la evaluación del riesgo de maquinarias con distintos niveles de desarrollo.

Fotografía de la cubierta: Lo más avanzado que la labranza cero puede ofrecer para ahorrar tiempo: siembra del nuevo cultivo cuando el cultivo anterior está siendo cosechado reteniendo la máxima cobertura de residuos.

El libro contiene información importante para los agrónomos de campo y para los académicos especializados en agronomía, ciencias del suelo e ingeniería agrícola.



Comentarios a la primera edición:

«...será una contribución importante para muchas bibliotecas...interesadas en técnicas de labranza cero...»

Agricultural Science

«¿Los autores alcanzaron sus objetivos?»

Creo que lo han hecho en forma admirable»

New Zealand Journal of Agricultural Research



Acribia



ISBN 978 - 84 - 200 - 1129 - 5



9 788420 011295