

1

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

C. John Baker y Keith E. Saxton

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¿Qué es la labranza cero?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

¿Por qué la labranza cero?

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

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

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

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

Ventajas

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Desventajas

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

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

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

Nuevos problemas de plagas y enfermedades.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

*Eliminación de la «labranza recreativa».**

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

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

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

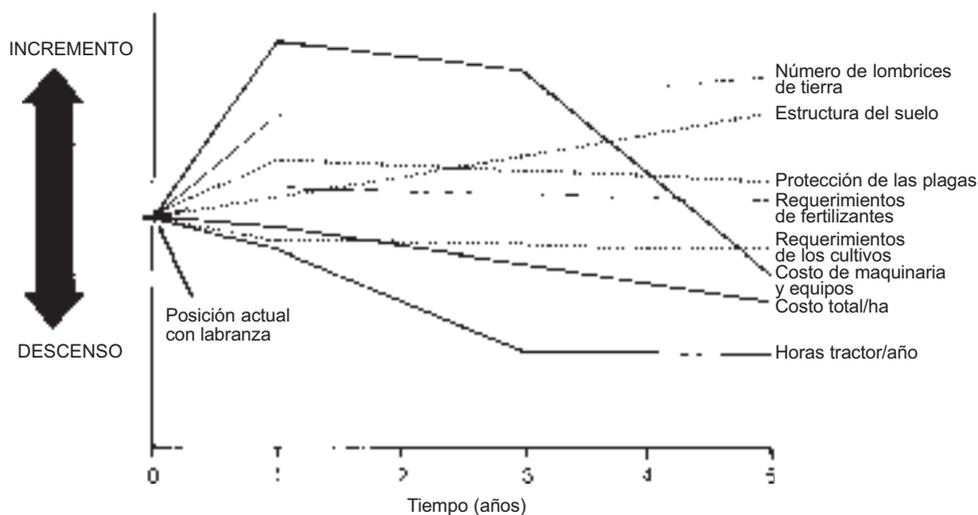


Figura 1 Tendencias probables a corto y largo plazo que podrían surgir como resultado de la conversión de la labranza convencional a la labranza cero (de Carter, 1994).

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

Resumen de «¿qué?» y «¿por qué?»

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

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

2

Los beneficios de la labranza cero

Don C. Reicosky y Keith E. Saxton

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

Introducción

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

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

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

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

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

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

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

Principios de la agricultura de conservación

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

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

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

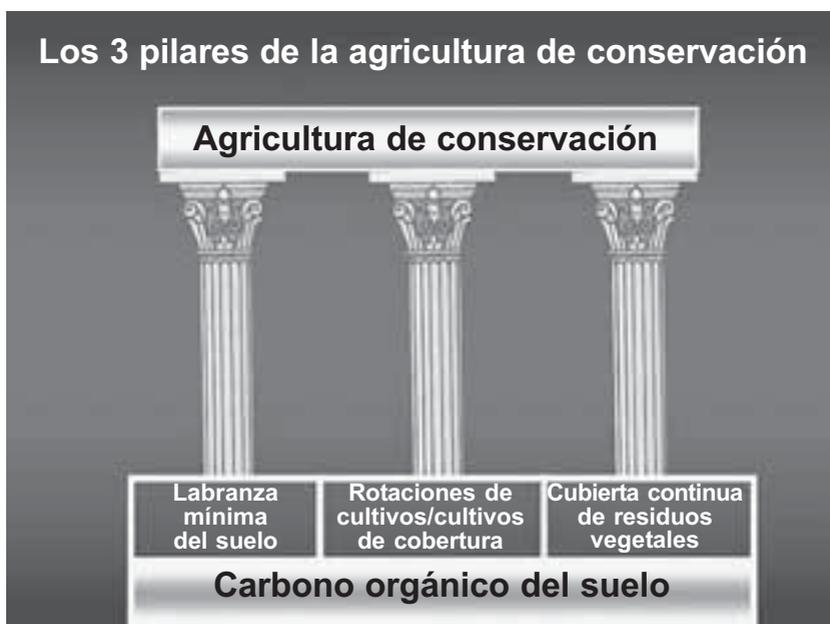


Figura 2 Representación esquemática de los tres pilares o principios de la agricultura de conservación apoyados por el carbono del suelo.

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

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

Beneficios para la producción de cultivos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Incremento de la materia orgánica

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Incremento de la disponibilidad de agua en el suelo

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

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

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

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

Reducción de la erosión del suelo

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

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

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

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

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

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

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

Fortalecimiento de la calidad del suelo

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

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

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

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

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

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

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

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

Mejor reciclaje de los nutrientes

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

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

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

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

Menores requerimientos de energía

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Emisiones y secuestro de carbono

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

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

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

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

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

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

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

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

Resumen de los beneficios de la labranza cero

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

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

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

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

3

La naturaleza del riesgo en la labranza cero

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

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

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

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

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

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

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

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

Riesgos biológicos

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

Pestes

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

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

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

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

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

Enfermedades

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

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

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

Toxinas

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

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

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

Estrés de nutrientes

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

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

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

Estrés fisiológico

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

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

Calidad de la semilla

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

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

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



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

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

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

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

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

Riesgos físicos

El clima

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

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

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

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

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

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

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

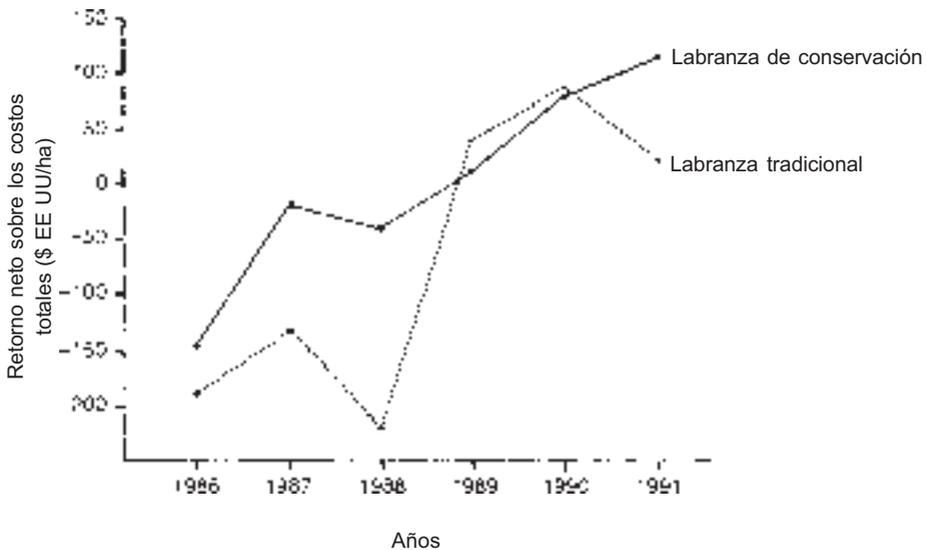


Figura 4 Rentabilidad relativa después de cinco años de dos sistemas de establecimiento de cultivos en el estado de Washington, Estados Unidos de América (de Young *et al.*, 1994).

Función de las máquinas

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

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

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

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

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

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

Las sembradoras para labranza cero encuentran mayores resistencias y sus componentes

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

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

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

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

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

Riesgos químicos

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

Control de malezas

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

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

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

MÉTODO PARA CLASIFICAR LAS SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO

OPCIONES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Toxicidad de los fertilizantes

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

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

Riesgo económico

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

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

A continuación se analizan ambos escenarios.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Conclusiones

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

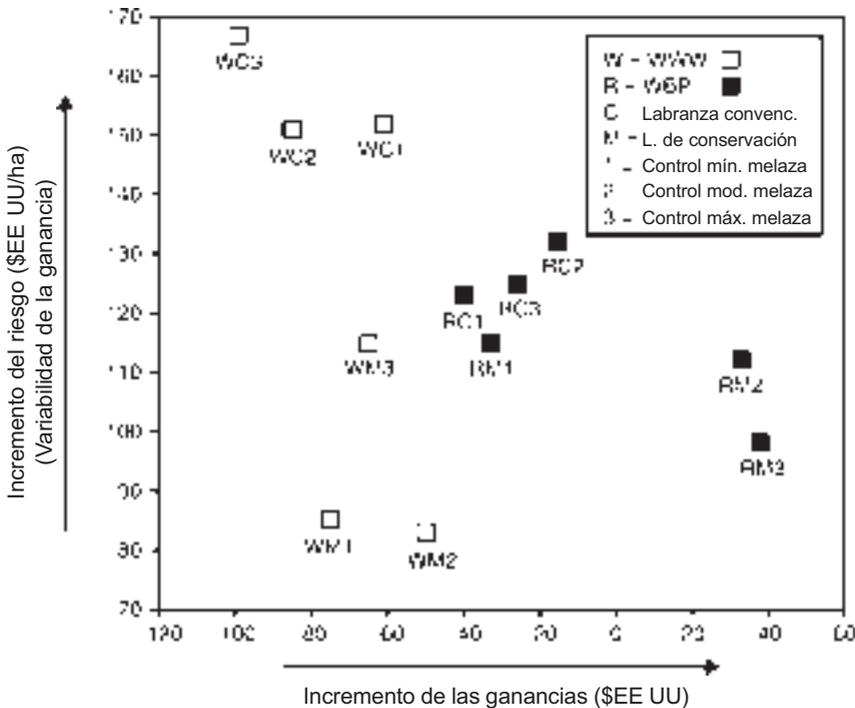


Figura 5 Análisis de rentabilidad y del riesgo en 12 sistemas en el área de Palouse, Washington, 1986-1991 (de Young *et al.*, 1994). NOTA: WWW = rotación trigo, trigo, trigo; WBP = rotación trigo, cebada, arveja.

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

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

Resumen de la naturaleza del riesgo en la labranza cero

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

4

Abresurcos y formas de las ranuras

C. John Baker

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

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

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

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

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

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

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

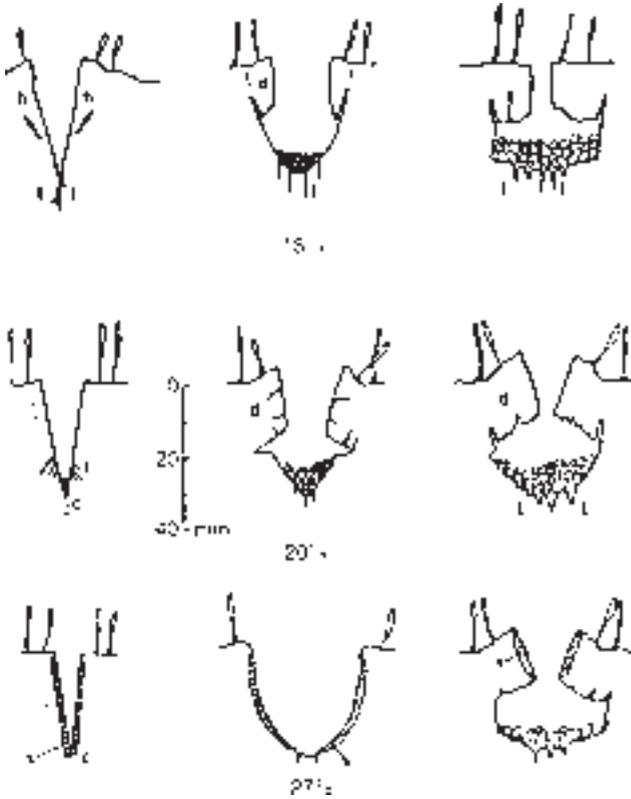


Figura 6 Perfiles típicos de ranuras verticales para labranza cero: V (izquierda); U (centro); T invertida (derecha) en un suelo franco sedimentario a 15, 20 y 27 por ciento de contenido de humedad (de Dixon, 1972).

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

Ranuras verticales

Ranuras en forma de V

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

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

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

Doble disco: excéntricos (Lámina 2)

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



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

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

Doble disco: distintos tamaños (Lámina 3)

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

Disco triple (Lámina 4)

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

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



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



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

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

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

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

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

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



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

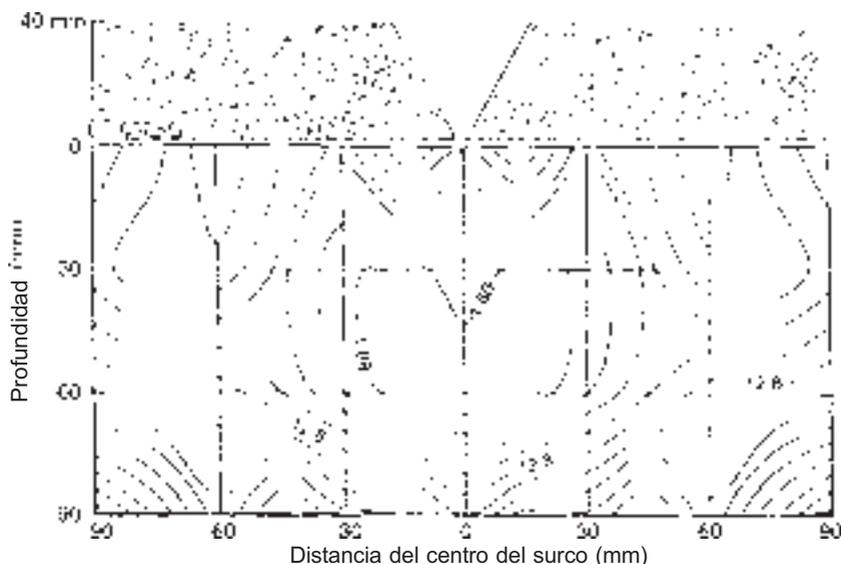


Figura 7 Modelo de resistencia del suelo alrededor de una ranura vertical en forma de V para labranza cero creada por un abresurco de disco triple en un suelo sedimentario franco húmedo (de Baker *et al.*, 1996).

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

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

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

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

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



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

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

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

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

Ranuras inclinadas en forma de V

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

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

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

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

Ranuras en forma de U

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



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

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

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

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

Abresurcos de discos angulados

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

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

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

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

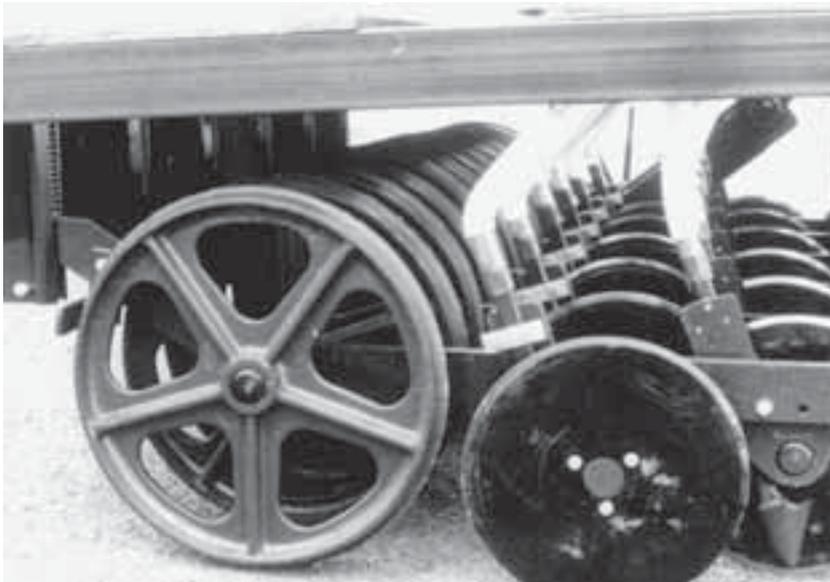


Lámina 8 Un par de abresurcos de discos planos angulados para labranza cero (de Baker *et al.*, 1996).

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

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

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

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



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

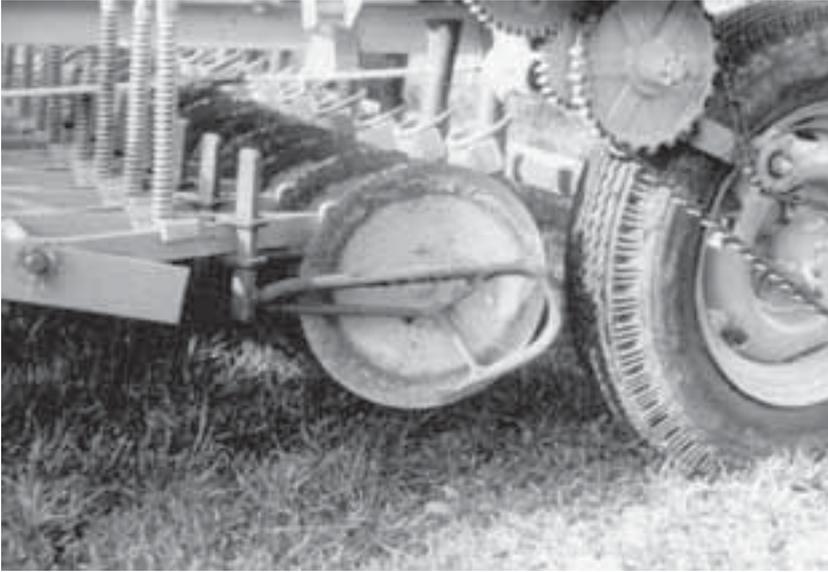


Lámina 10 Un disco plano angulado para un abresurco para labranza cero con ángulo horizontal y vertical. Este abresurco también tiene un raspador para cortar y remover las láminas de suelo (de Baker *et al.*, 1996).

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

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

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

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

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

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

Abresurcos de azada o pata de ganso

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

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

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



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

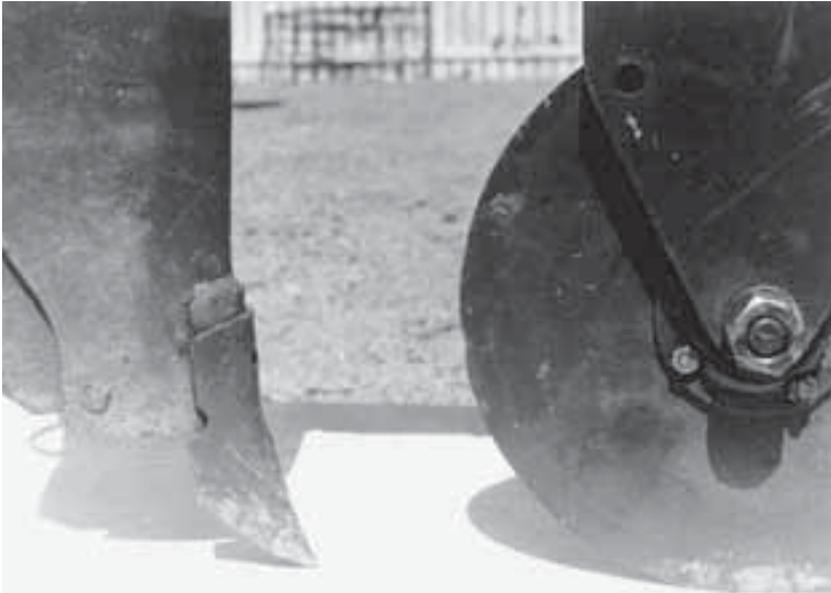


Lámina 12 Abresurco de tipo azada con punta aguda para labranza cero (de Baker *et al.*, 1976b).



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

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

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

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

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

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

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

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

Abresurcos movidos por la toma de fuerza

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

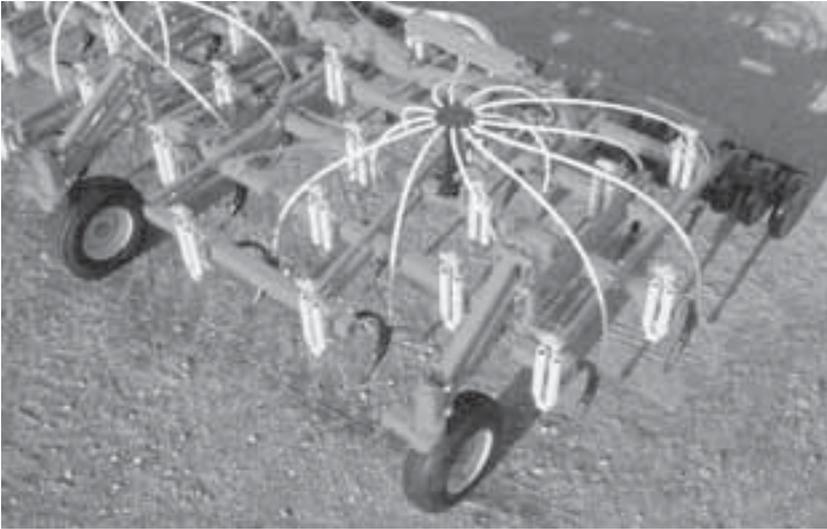


Lámina 14 Una sembradora para labranza cero con abresurcos de cincel con separación amplia diseñado para abrir los residuos.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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



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

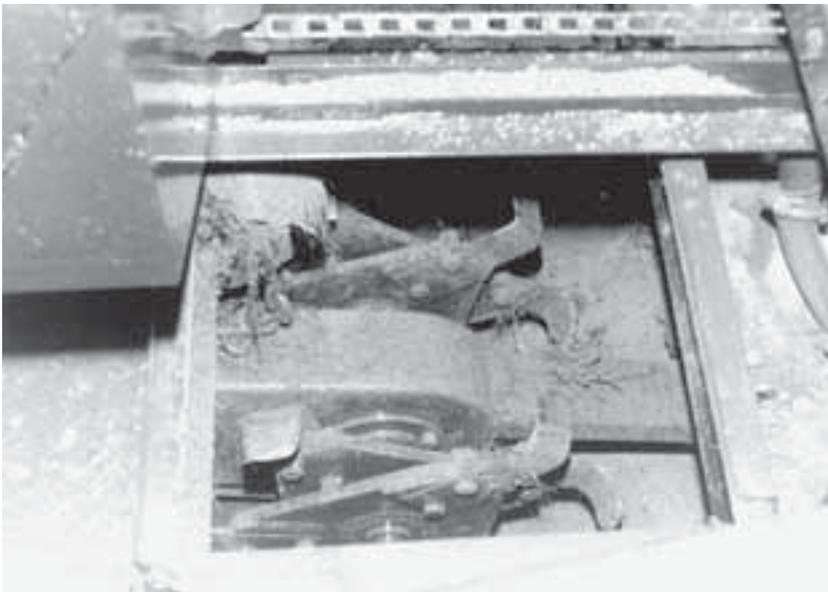


Lámina 17 Abresurcos movidos por toma de fuerza para labranza cero ordenados en pares (de Baker, 1981a, b).

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

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



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

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

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

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

Surcadores

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



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

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

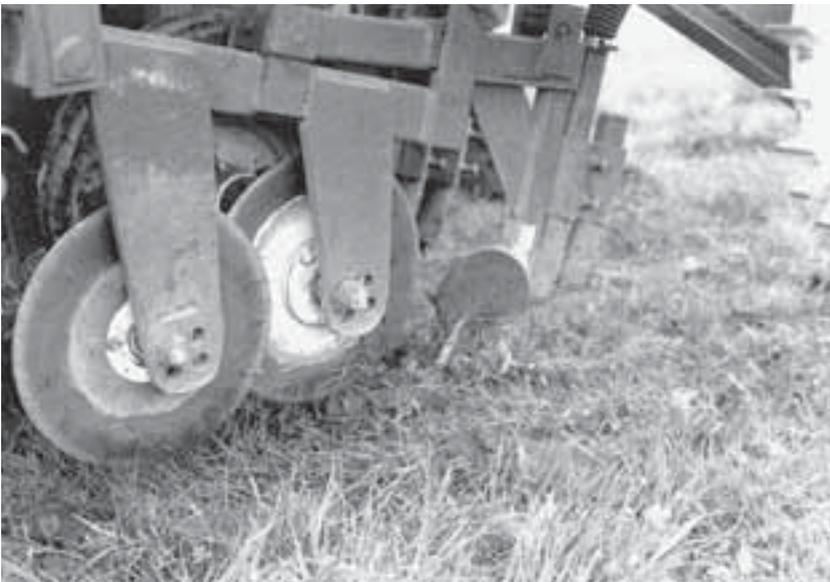


Lámina 20 Abresurcos surcador para labranza cero (de Choudhary *et al.*, 1985).

considerados como herramientas especializadas diseñadas solamente con ese propósito.

Abresurcos vibradores

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

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

Aberturas horizontales

Aberturas en forma de T invertida

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

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

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

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

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

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

Abresurcos de un ala

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

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

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

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

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

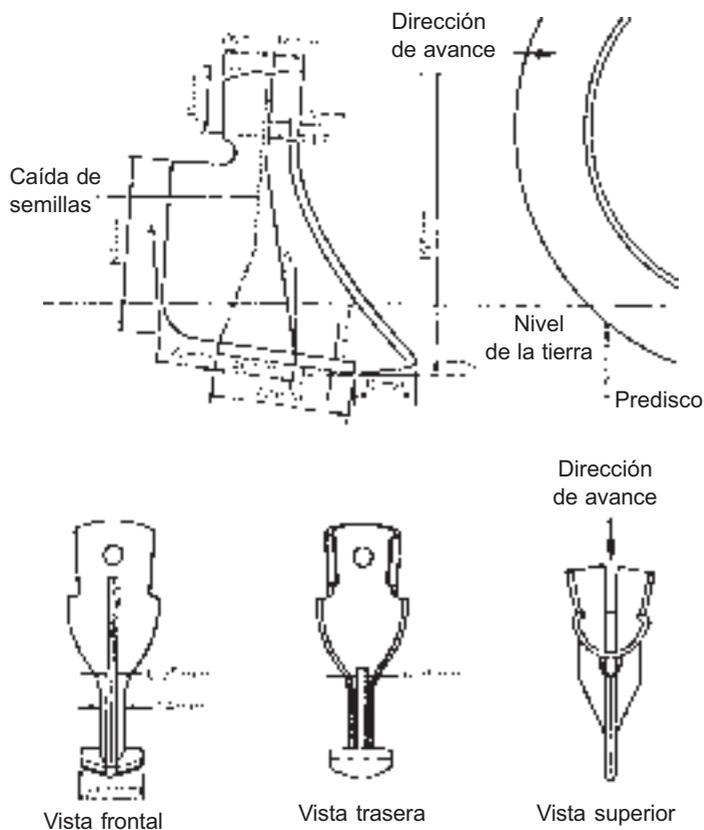


Figura 8 Abresurcos original en forma de T invertida para labranza cero (de Baker, 1976b).

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

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

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

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

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

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



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



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

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

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

Abresurco de alas basado en un disco central

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



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

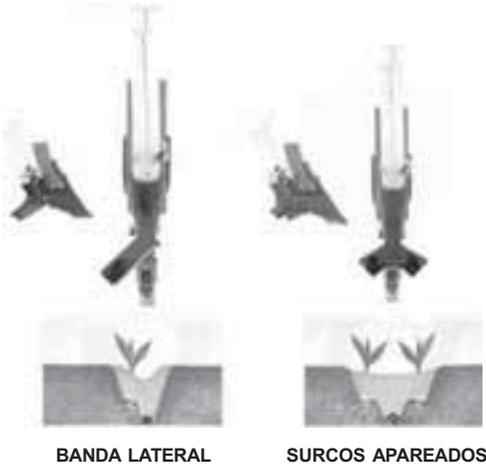


Lámina 24 Dos versiones de los abresurcos con ala de doble vástago.

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



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

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

Siembra a golpes

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

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

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

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

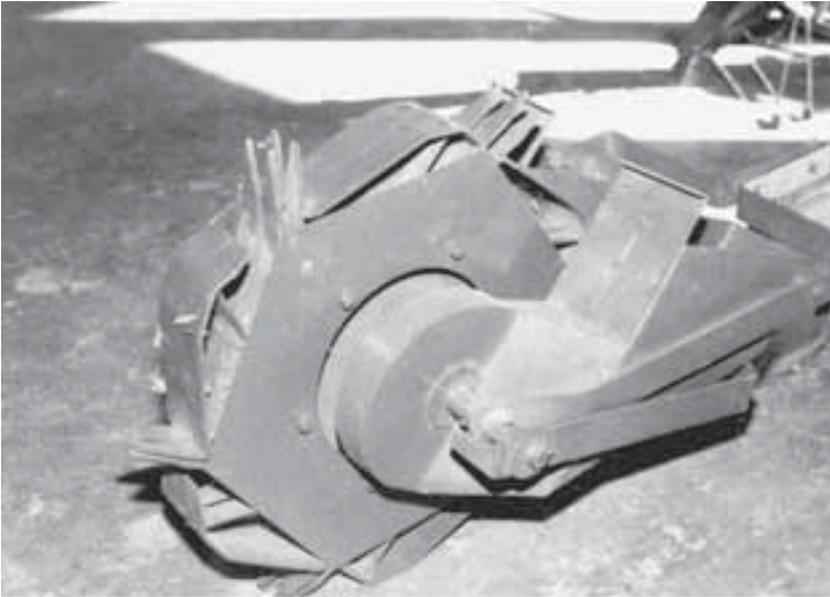


Lámina 28 Prototipo de una sembradora a golpe mecanizada (de Baker, 1981a, b).

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

Siembra a voleo en superficie

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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