

13

Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala

C. John Baker

Una sembradora para labranza cero es una máquina diseñada para servir a las funciones de sus abresurcos.

Aunque la mayoría de las funciones deseadas de las sembradoras y de las sembradoras de precisión para labranza cero pueden estar indudablemente relacionadas con las funciones deseadas de sus abresurcos, también hay otros componentes y funciones importantes. A continuación serán examinados en sentido amplio sin intención de aprobar o desaprobar los criterios de los modelos en las sembradoras y sembradoras de precisión comerciales.

Los diseñadores y fabricantes que consideren seriamente las funciones deseadas de las sembradoras y las sembradoras de precisión y las variaciones requeridas para obtener esos resultados con la mayor frecuencia posible presentan una gama de opciones. Los consumidores deben constatar qué máquina les puede resultar más útil después de haber sopesado factores de riesgo, comportamiento y costos.

Por ejemplo, las sembradoras para regeneración de pasturas pueden no ser tan desarrolladas como aquellas para establecer cultivos anuales porque el manejo de los residuos raramente es un requisito importante en la siembra de especies forrajeras y además porque puede haber mayor flexibilidad en la elección de la fecha apropiada de siembra. Esto a su vez permite una demora en el momento de siembra

hasta que llega el tiempo favorable. Por otro lado, el objetivo de las fechas de siembra para los cultivos anuales a menudo está dictado por la oportunidad climática de la cosecha, que es muy limitada y difícilmente permite esperar durante mucho tiempo las condiciones favorables. Las sembradoras y las sembradoras de precisión deben funcionar a su máximo potencial con menor dependencia del clima y por ello deben ser más elaboradas que las sembradoras para regeneración de pasturas.

Este capítulo considera las máquinas para grandes predios y tracción mecánica y el capítulo siguiente analiza las máquinas para agricultura en pequeña escala y para animales de tiro. En ambos casos el modelo de las sembradoras y las sembradoras de precisión cubre los siguientes temas:

- Ancho de las operaciones.
- Nivelación de la superficie.
- Requisitos de potencia.
- Aplicación de la fuerza de penetración.
- Consideraciones para el transporte.
- Utilización de la potencia disponible.
- Almacenamiento y dosificación de los productos.

Ancho de las operaciones

Los factores más importantes que deberían tener influencia sobre el modelo de las

sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero son el tiempo total necesario para establecer un cultivo determinado y la fuerza disponible para tirar de la máquina. Lamentablemente, muchos agricultores se convierten de la labranza común a la labranza cero con la esperanza de que con este último sistema obtendrán el mismo rendimiento del trabajo que con las máquinas usadas anteriormente para labrar la tierra. Tales expectativas no tienen en consideración el hecho de que las máquinas para labranza cero van a cubrir el campo solo una vez y pueden, por lo tanto, permitir un trabajo a una velocidad menor de trabajo. Dado que muchas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero son capaces de trabajar a una velocidad de avance similar a la de las máquinas de labranza, esto significa que pueden ser más angostas.

Una comparación concisa y práctica fue hecha por un agricultor inglés quien concluyó que mientras pudiera sembrar con su máquina para labranza cero a la misma velocidad que podía anteriormente arar, estaría ganando al utilizar la labranza cero. A pesar de tal pragmatismo, es común oír que otros agricultores exigen que las máquinas para labranza cero sean del mismo ancho que las máquinas convencionales. Algunos fabricantes de maquinaria acceden a estos pedidos pero se ven forzados a seleccionar abresurcos con baja demanda de potencia. Casi invariablemente, cuanto más baja es la demanda de potencia de los abresurcos para labranza cero, de menor calidad será el trabajo que hacen en el suelo sin labrar y mayor será el riesgo de un fracaso biológico.

Por ejemplo, un agricultor que use la labranza mínima cubrirá el campo pasando por lo menos dos veces o probablemente tres veces para establecer un cultivo. Si cada una de las máquinas usadas para la labranza mínima, incluida la sembradora, fuera de 4,5 m de ancho, el ancho efectivo de trabajo sería de 1,5 m (4,5:3). Aún así, muchos agricultores se lamentan de que una sembradora de 3 m de ancho para labranza cero sería demasiado angosta

para sus propósitos, si bien podrían completar todo el trabajo en la mitad del tiempo que requieren las máquinas de 4,5 m en labranza mínima. Sin embargo, es sorprendente que este problema aparentemente simple se repita en numerosas oportunidades.

Para aquellos agricultores resistentes al cambio, tal argumento podría ser una excusa para eludir el problema. Para otros que practican la labranza cero con las sembradoras que requieren poca potencia, refleja la ignorancia de los beneficios que ofrecen las máquinas para labranza cero más desarrolladas; lo cual invariablemente está acompañado por una mayor demanda de potencia.

Si bien el incremento de demanda de potencia y fuerza de penetración de los abresurcos se convierte en una mayor solicitud de la potencia del tractor y del peso de la máquina, esos insumos son relativamente poco costosos y fácilmente obtenibles. El aumento de la confiabilidad biológica y de los rendimientos de los cultivos por medio del modelo de los abresurcos son el insumo más costoso y complejo. Algunos operadores eligen minimizar los requisitos de potencia o peso en lugar de maximizar la confiabilidad biológica. En realidad, es así como los operadores individuales enfocan todo el concepto de labranza cero: si están orientados a obtener mejores rendimientos o si están orientados a obtener beneficios económicos.

Aquellos que consideran la labranza cero como un elemento para eliminar la labranza pero que todavía piensan que la labranza es el elemento fundamental, probablemente opten por lo menos costoso, y maximicen el ancho del trabajo y minimicen los requisitos de potencia y peso como altas prioridades. Aquellos que consideran que la labranza cero es el objetivo final y consideran la labranza solo como una etapa del proceso de aprendizaje (si bien practicada durante siglos) podrían cambiar su opinión y buscarán maximizar el comportamiento biológico, casi sin considerar el costo, el peso y el ancho, y dispuestos a

agregar fácilmente los cambios necesarios en sus prácticas de manejo. A menudo está lleno de gente con estas dos perspectivas y no es probable que cambien en este sentido.

El modelo y el deseo de un cierto ancho de operación incluyen varias funciones más allá de la relación que pueden tener con el abresurcos: disponibilidad de potencia, topografía del predio, cantidad de insumos que se llevan al campo y su transporte, por enumerar solo algunos. Cada función que se agrega se integra en el modelo general y en el ancho de la máquina. Los ejemplos de las máquinas que se observan en las Láminas 88, 89, 90 y 91 presentan un rango de ancho de 4 a 18 m, todas montadas con el abresurcos en T invertida pero en diferentes configuraciones.

Nivelación de la superficie

La oportunidad de nivelar la tierra antes de la siembra se pierde cuando se trabaja en el

régimen de labranza cero. Por esta razón, las sembradoras y las sembradoras de precisión deben ser capaces de seguir fielmente cambios importantes en la superficie del suelo sin ir en detrimento de la profundidad de siembra o de otras funciones. Este es un requisito difícil de satisfacer (ver Capítulo 8) y para una sembradora o una sembradora de precisión impone limitaciones sobre el ancho total de la máquina y otras consideraciones en su diseño.

Seis metros (20,5 pies) parece ser el límite máximo que una máquina puede abarcar en un solo bastidor para permitir que los abresurcos se levanten y caigan lo suficiente para seguir las depresiones y elevaciones del terreno. Aun en esos casos, salvo cuando los abresurcos son empujados con una fuerza de penetración capaz de ejercer una fuerza consistente a medida que se mueven verticalmente cerca de 0,4 m (16 pulgadas), puede ocurrir alguna siembra a profundidad irregular con una sembradora de 6 m de ancho. Cuando son necesarios anchos mayores se utilizan unidades múltiples o alas



Lámina 88 Sembradora de 4,5 m de ancho para labranza cero sobre marco rígido y con rueda trasera.

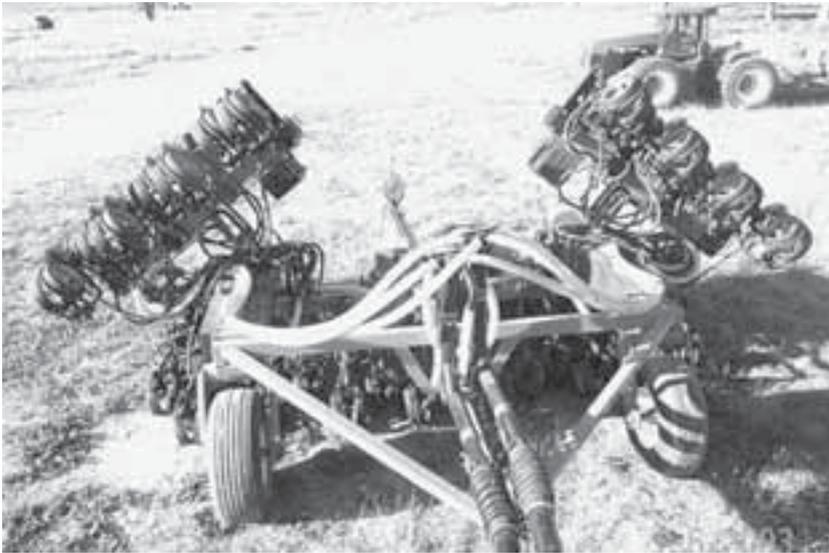


Lámina 89 Barra portaherramientas de 12 m, remolcada, con las alas dobladas para el transporte.



Lámina 90 Barra portaherramientas rígida de 4 m que se levanta para su transporte.

que se doblan a partir de un grupo central. Pero aun así, el trabajo con una máquina de 6 m de ancho con un abresurcos con buena capacidad de seguimiento de la superficie es posible so-

lamente en un terreno razonablemente nivelado. Una medida más aceptable sería 4,5 m.

No existe ninguna diferencia si los abresurcos están separados 150 mm o un metro. Cada



Lámina 91 Barra portaherramientas de 18 m que se remolca desde su parte trasera para el transporte.

abresurcos individual debe subir y bajar en respuesta a las irregularidades de la superficie, independientemente de los otros abresurcos. Su incapacidad para hacerlo resulta en la pérdida de un surco sin consideración de cuántos surcos más hay.

Dado que el microcontorno de la superficie de la tierra permanece sin disturbar, las ruedas reguladoras/compresoras de los abresurcos para labranza cero deben operar en una superficie más áspera que en el caso de la labranza común. La reducción del impacto de esta aspereza debe ser obtenida por medio de un resorte en las ruedas reguladoras/compresoras, pero esto elimina virtualmente su función de control de profundidad, dado que la relación entre la posición de las ruedas y la base de la ranura (posición de la semilla) cambia constantemente cuando las ruedas están en tensión. Como alternativa, el montaje de las ruedas sobre brazos deslizantes reduce efectivamente a la mitad cada irregularidad superficial, lo cual nivelará el pasaje de un abresurco con ruedas reguladoras/

compresoras rígidas o semineumáticas sin comprometer su función de regulación.

Otro elemento a considerar es la velocidad. Obviamente, cuanto más rápidamente es arrasada la sembradora o la sembradora de precisión, más variable será el recorrido. Esto es especialmente importante con las sembradoras de precisión porque la precisión en la entrega de las semillas y su espaciamiento final es afectado por la suavidad del recorrido. Una velocidad aceptable para trabajar con una sembradora de precisión en un suelo labrado puede ser muy rápida cuando la misma sembradora opera en un suelo sin labrar. Este es un factor negativo de la labranza cero pero que debe ser considerado frente al hecho de que en un suelo labrado han sido necesarias varias pasadas de herramientas de labranza antes de la siembra. Por lo tanto, si es necesaria una velocidad de siembra menor para la siembra en labranza cero, esto reducirá, pero no eliminará, las ventajas asociadas con este tipo de labranza cero. En el caso de la siembra de semillas pequeñas comparada con la

sembradora de precisión de semillas más grandes, casi no hay restricciones de velocidad. Sin duda, algunas sembradoras para labranza cero operan a velocidades mayores que máquinas similares en tierras labradas.

Requisitos de potencia

Las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero requieren más potencia para operar en suelos sin labrar que las máquinas que trabajan en suelos labrados. Esto es en parte debido al hecho de que los abresurcos están diseñados para romper la tierra sin labrar y en parte porque las máquinas son más pesadas. Los requisitos típicos de potencia son de 3 a 9 kilovatios (kW) del motor del tractor (4 a 12 HP) por abresurco. Esta potencia también requiere un incremento de la potencia de tracción, por lo que en los casos de labranza cero son usados preferentemente tractores con tracción en las cuatro ruedas.

Este requisito de potencia crea limitaciones en el número de abresurcos que pueden ser arrastrados por un tractor determinado. Por ejemplo, una sembradora de 25 abresurcos que opera en un terreno llano y en suelo de textura media, requiere una potencia del motor del tractor de aproximadamente 150 kW (200 HP) mientras que el mismo abresurcos operando en un suelo sedimentario y/o en suelos en ladera o en un césped denso puede requerir un 50 por ciento más de potencia.

Los requisitos de potencia también están relacionados con la velocidad de siembra. Algunos abresurcos pueden operar satisfactoriamente a velocidades relativamente altas (hasta 16 km/h). Otros no deberían ser usados a más de 7 km/h. La necesidad de potencia del tractor se incrementa con el aumento de la velocidad que resulta en un menor tiempo de trabajo.

Las sembradoras de precisión tienen ventajas sobre las sembradoras en lo que respecta a los requisitos de potencia. El menor número

de abresurcos en las sembradoras de precisión es debido a su mayor espaciamiento, de hasta un metro, lo que significa que raramente la potencia del tractor será un factor limitante para el tamaño de la máquina. En general, el límite máximo del tamaño de las sembradoras de precisión es la capacidad de los abresurcos para seguir el nivel de la superficie del terreno, mientras que en las sembradoras el factor limitante es la potencia del tractor. Como regla general, para un ancho dado de operación, una sembradora de precisión requiere la mitad de la potencia del motor del tractor de una sembradora de una medida similar.

Finalmente, el ancho de la sembradora será determinado por una combinación del número de abresurcos y de la distancia entre surcos. En general, en la labranza cero los cultivos se benefician de un espaciamiento estrecho de los surcos en razón de la mayor disponibilidad de humedad de los suelos sin labrar. Por otro lado, las limitaciones físicas impuestas por el manejo de los residuos indican que en las sembradoras los surcos para labranza cero raramente están espaciados a menos de 150 mm.

Fuerzas del peso y del abresurcos

Cada modelo de abresurcos para labranza cero requiere una fuerza de penetración diferente para satisfacer el objetivo de colocar las semillas a la profundidad requerida. Esta fuerza de penetración está determinada por numerosas variables:

1. Consistencia del suelo, lo que determina la resistencia del suelo a la penetración.
2. Densidad y humedad del suelo, lo que afecta la consistencia del suelo.
3. Presencia o ausencia de piedras y su tamaño.
4. Presencia o ausencia de raíces de plantas que resisten directamente a la penetración.

5. Estado de descomposición de las raíces de las plantas, que es afectado por el intervalo entre la aspersión o la cosecha y la siembra.
6. Velocidad de operación, ya que los abresurcos penetran mejor a velocidades reducidas que a altas velocidades.
7. Arrastre de los abresurcos (su resistencia al movimiento a través del suelo).
8. Geometría del enganche de los abresurcos al bastidor de la sembradora; a medida que el abresurco se mueve hacia abajo en un hueco el componente vertical de tiro aumenta actuando hacia arriba, oponiéndose y reduciendo la fuerza de penetración y empujando los abresurcos dentro del suelo.

Mai (1978) midió las fuerzas de penetración y las fuerzas de arrastre a una profundidad de siembra de 38 mm, a muy bajas velocidades de abresurcos de triple disco vertical y de abresurco simple de ala en labranza cero, en un césped asperjado en un suelo franco sedimentario y con dos contenidos diferentes de humedad. Los resultados se encuentran en el Cuadro 27.

Los datos del Cuadro 27 muestran que mientras que el abresurco vertical de triple disco requirió cuatro veces más de fuerza de penetración en 38 mm de profundidad que el abresurco simple de ala, requirió el 50 por ciento menos fuerza de arrastre a través del suelo.

La acción de penetración del abresurco de triple disco forma en el suelo una cuña con el ángulo agudo hacia abajo que absorbe la fuerza de penetración. Por otro lado, el abresurco de ala tiende a levantar el suelo lo que reduce su fuerza de penetración. De hecho, el suelo cuando actúa sobre la superficie superior de las alas inclinadas tiende a tirar esa parte del abresurco de ala hacia la tierra, si bien es contrarrestado por la resistencia a la penetración del predisco, por la parte vertical del cincel del abresurco y por los bordes frontales más bajos de las alas.

El abresurco vertical de triple disco está compuesto totalmente de discos giratorios. Una vez que ha llegado a la profundidad de operación, las fuerzas necesarias de tiro a través del suelo son menores que con el abresurco de ala, el cual corta las raíces y a medida que avanza separa una zona de suelo más ancha que el abresurco de triple disco. Esto se refleja en las relaciones *fuerza de penetración:fuerza de tiro* para los dos abresurcos, que promedian 0,65 para el abresurco vertical de triple disco y 0,11 para el abresurco simple de ala.

Lógicamente, en el caso de ambos abresurcos, el suelo más húmedo requiere menos fuerza de penetración y de tiro que un suelo seco, pero la relación *fuerza de penetración:fuerza*

Cuadro 27 Requisitos de fuerza de penetración y de arrastre de dos abresurcos en labranza cero.

	Abresurco vertical de triple disco ¹		Abresurco simple de ala ²	
	23%	28%	23%	28%
Contenido de humedad (g/g)	23%	28%	23%	28%
Fuerza de penetración (N)	882	842	221	203
Arrastre (N)	1 684	1 210	2 096	1 852
Relación fuerza de penetración:arrastre	0,53	0,70	0,11	0,11

Nota: Conversión: (N) Newton = fuerza 0,2 libra.

¹ El abresurco vertical de triple disco tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 200 mm de diámetro; los dobles discos eran de 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro.

² El abresurco simple de ala tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 200 mm de diámetro; las alas median 40 mm de ancho.

de tiro permaneció razonablemente estable, sin considerar el contenido de humedad del suelo.

Baker (1976a), en tres experimentos separados, midió las fuerzas de penetración requeridas para una penetración de 38 mm por varios abresurcos en un suelo seco, fino, arenoso limoso, cubierto con residuos de pasturas tratadas con herbicidas y contenidos de humedad que variaban entre el 14,1 y el 18,2 por ciento (g/g). Los resultados se encuentran en el Cuadro 28.

Los datos del Cuadro 28 muestran que la diferencia en la fuerza de penetración entre los abresurcos verticales de triple disco y los abresurcos simples de ala es ligeramente menor que en el Cuadro 27, probablemente en razón de un suelo más liviano. El abresurco de azada fue similar al abresurco de ala lo que sugiere que el efecto de arrastre de las alas tuvo una importancia menor, ya que los abresurcos de azada no tienen alas.

El abresurco angulado de disco plano requirió la menor fuerza de penetración de todos los abresurcos probados y el abresurco angulado de disco cóncavo requirió más fuerza de penetración que todos los otros abresurcos excepto el de triple disco vertical, probablemente a causa de la resistencia a la penetración de la parte convexa del disco angulado.

Para que una sembradora o una sembradora de precisión pueda operar, su peso o com-

ponente de penetración debe ser suficiente para proporcionar las fuerzas de penetración combinadas de todos sus abresurcos cuando operan en las peores condiciones –por lo general, las más secas– en las que es posible obtener emergencia de las plántulas. Este concepto es particularmente importante y a menudo confunde a los potenciales interesados en adquirir sembradoras cuando se enfrentan con las propuestas y contrapropuestas de los fabricantes. Por ejemplo, los abresurcos verticales de doble o triple disco se comportan mediocrementemente en lo que hace a la emergencia de las plántulas en los suelos secos (ver Capítulo 6). Con pocas excepciones, las sembradoras o las sembradoras de precisión con esos abresurcos no proporcionan suficiente fuerza de penetración (peso) para llegar a la profundidad de siembra en el suelo seco. Las sembradoras parecen ser relativamente livianas lo que da la impresión errónea de que pueden penetrar en la tierra más fácilmente que otras sembradoras, cuando la realidad es la situación opuesta.

Por otro lado, los abresurcos de ala toleran suelos muy secos, en términos biológicos, y sus sembradoras o sembradoras de precisión a menudo son suficientemente pesadas como para forzar a los abresurcos en suelos que podrían ser de otra manera biológicamente inadecuados. Por esta razón, el peso total de una sembradora o de una sembradora

Cuadro 28 Requisitos de fuerza de penetración de varios abresurcos para labranza cero.

	Triple disco vertical ¹	Simple de ala ²	De azada ³	Disco plano angulado ⁴	Disco cóncavo angulado ⁵
Fuerza de penetración (N)	770	281	263	133	145

Nota: Conversión: 1 N (Newton) = fuerza 0,2 libra.

¹ El diseño del abresurco de disco triple vertical según el Cuadro 27; el valor es la media de tres experimentos.

² El diseño del abresurco simple de ala según el Cuadro 27; el valor es la media de tres experimentos.

³ El abresurco de azada tenía un predisco plano de 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro y el diente era de 25 mm de ancho; el valor es la media de tres experimentos.

⁴ El disco plano angulado tenía 3 mm de espesor y 250 mm de diámetro; el valor es de un solo experimento.

⁵ El disco angulado cóncavo tenía 2 mm de espesor y 250 mm de diámetro; el valor es de un solo experimento.

de precisión no refleja necesariamente los requisitos de sus abresurcos en un suelo determinado. Este puede, de hecho, reflejar mejor que ningún otro elemento la tolerancia biológica (o intolerancia) de sus abresurcos a los suelos secos.

Sin embargo, es necesaria otra fuerza además del peso muerto de los abresurcos para forzar su penetración en el suelo. La Figura 35 muestra cuatro arreglos geométricos diferentes para unir los abresurcos a los bastidores de las sembradoras.

El primero y más simple consiste en fijar los abresurcos en forma rígida al bastidor de la sembradora, sin posibilidad de articulación entre los mismos. Esto da a la sembradora una baja capacidad para seguir los cambios de la superficie pero la fuerza de penetración provista a cada abresurco permanece razonablemente constante y claramente predecible.

El segundo caso utiliza un cable de acero para: i) introducir un brazo de tiro separado entre el bastidor de la sembradora y el abresurco, y ii) proporcionar un movimiento limitado entre este y el bastidor de la sembradora. Para cumplir la segunda función, la parte superior se extiende y a menudo está enrollada varias veces para aumentar su flexibilidad.

Durante la operación, el arrastre contra el suelo del abresurcos tiende a que el brazo de tiro tire hacia atrás y hacia arriba, pero el desplazamiento real en cualquier dirección es relativamente pequeño. Esto significa que el punto de acción de la fuerza de penetración aplicada en el suelo permanece relativamente constante en relación con el bastidor de la sembradora y, por lo tanto, hay poco cambio en la fuerza de penetración a medida que los abresurcos atraviesan las ondulaciones de la superficie del terreno.

Este modelo limita su capacidad para seguir fielmente las variaciones de la superficie del terreno. Además, muchos modelos similares permiten que los abresurcos se muevan hacia los lados con el resultado de producir alguna variación en el espaciamiento entre surcos; sin embargo, esto permite trabajar en superficies con piedras grandes y tener menos bloqueos que los abresurcos rígidos o las barras de tiro que se mueven solo en el plano vertical.

El tercer arreglo se usa comúnmente en las sembradoras convencionales para camas de semillas en tierras aradas y ha sido simplemente transferida a muchas sembradoras para labranza cero, con ajustes para reforzar su fortaleza y la magnitud de las fuerzas de

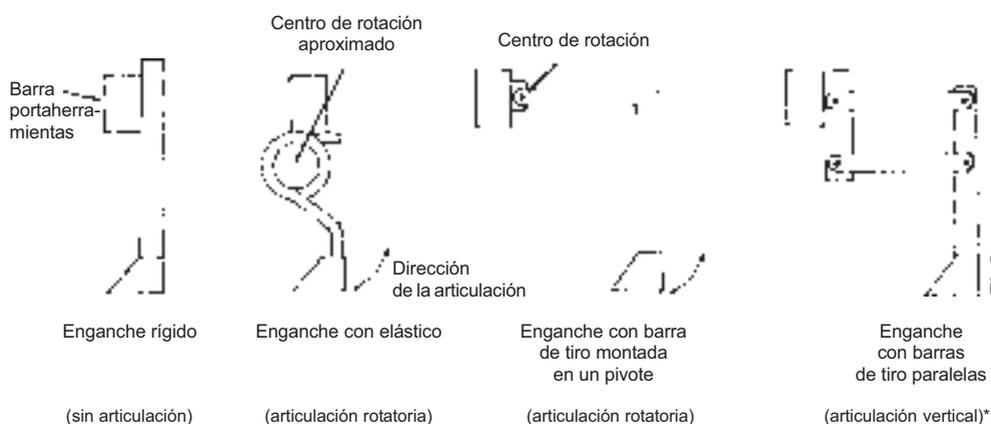


Figura 35 Opciones geométricas para el enganche de las barras de tiro en una sembradora para labranza cero. *El abresurco también se mueve hacia delante al igual que toda la máquina, por lo que esto es ignorado y no afecta la función del abresurco de ninguna manera.

penetración. Consiste de una sola barra de tiro montada en un pivote que es empujada hacia abajo o algunas veces se tira de ella desde abajo. El abresurcos no puede actuar hacia atrás, solamente hacia arriba y hacia abajo en un arco limitado alrededor del punto del pivote entre la barra de tiro y el bastidor de la sembradora. Dado que la fuerza aplicada por el tractor para crear este movimiento de avance –fuerza de arrastre– actúa a través del punto del pivote y se opone a la resistencia del abresurco en el punto de contacto del suelo, estas fuerzas pueden ser resueltas por triangulación de sus componentes horizontales y verticales.

La Figura 36 muestra el diagrama de las fuerzas resultantes. El tiro o fuerza de tiro aplicada por el tractor se opone por la resistencia al movimiento hacia adelante (P) a través del suelo. Esto se aprecia en el diagrama como el componente horizontal de tiro (H). El componente de tiro (V) es derivado de la línea resultante de tiro (R) que pasa a través del punto de unión del abresurco a la sembradora y el centro de resistencia (X) de todas

las fuerzas del suelo; este es el punto de equilibrio de todas las fuerzas de resistencia del suelo en el abresurcos y está ubicado algo debajo de la superficie del suelo. El componente vertical de tiro (V) actúa hacia arriba y, junto con la fuerza vertical que se genera por la resistencia del suelo a la penetración, tiene que ser contrarrestada por la fuerza neta de penetración vertical (D); esta es aplicada separadamente por resortes u otros medios sobre la sembradora –no en el tractor– para que el abresurcos permanezca sobre la tierra.

Todas esas fuerzas encuentran un punto de equilibrio, pero el problema surge cuando la posición del abresurcos cambia en relación con el bastidor de la sembradora. Por ejemplo, a medida que el abresurcos pasa por una pequeña depresión del terreno y se mueve hacia abajo –en relación al punto del pivote del bastidor de la sembradora– el componente horizontal de tiro (H) puede no cambiar, pero el componente vertical de tiro (V) aumentará porque la línea de tiro resultante que actúa a través del punto del pivote (R) será más aguda.

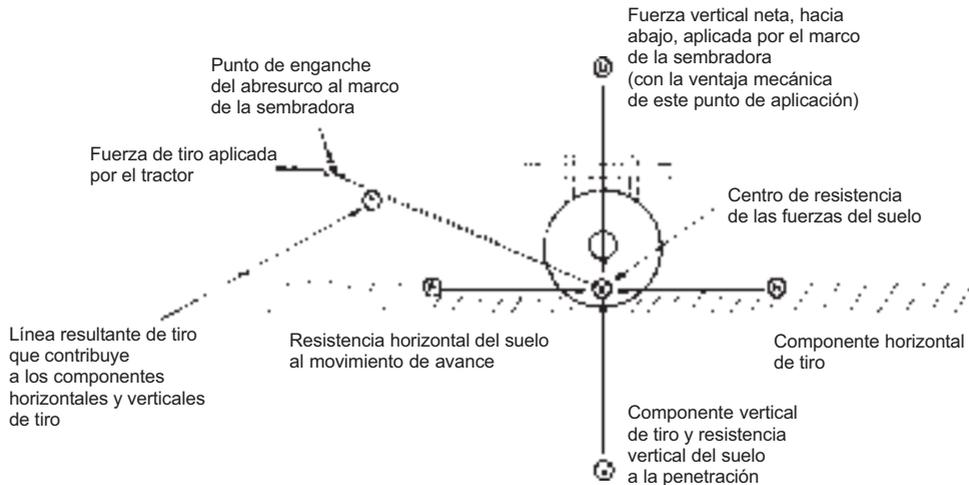


Figura 36 Distribución de las fuerzas que actúan sobre un abresurco para labranza cero a medida que es arrastrado a través del suelo.

Esto significa que habrá entonces una mayor fuerza hacia arriba oponiéndose a la fuerza neta vertical de penetración (D) sobre el abresurcos, que en el mejor de los casos permanece constante, lo que da como resultado una siembra más superficial. Esto sería un problema importante si la fuerza de penetración permaneciera constante, pero como el mecanismo de aplicación de la fuerza de penetración sobre la sembradora es por lo general un resorte, la fuerza de penetración realmente disminuye algo a medida que el abresurcos se mueve hacia abajo porque el resorte se estira. El efecto neto es una significativa reducción de la fuerza neta de penetración vertical (D) aplicada al abresurcos, y da como resultado una siembra más superficial en esa porción de terreno.

El efecto contrario ocurre cuando un abresurco pasa sobre una elevación del terreno. Típicamente, los abresurcos con este arreglo geométrico común siembran muy superficialmente en las depresiones y muy profundamente sobre las elevaciones.

Sin embargo, hay aún otros problemas. Si la resistencia del suelo al movimiento de avance (P) se incrementa porque la sembradora encuentra una zona de suelo más duro, la magnitud de la línea de tiro resultante (R) también se incrementa, aun cuando su pendiente pueda ser la misma. Esto a su vez incrementará el componente vertical de tiro (V), el cual salvo que sea compensado por un incremento en la fuerza vertical neta (D), dará lugar también a una siembra más superficial.

En realidad, tanto la superficie del suelo como la resistencia del movimiento de avance de los abresurcos individuales cambian continuamente bajo las condiciones de labranza cero. Como consecuencia, también cambia el componente vertical de tiro, lo que causa variaciones en la penetración.

El cuarto arreglo es común (Figura 35) en las sembradoras de precisión y en modelos más desarrollados de sembradoras para labranza cero. En este caso, la barra de tiro montada

en un pivote simple usada en el tercer arreglo es reemplazada por dos barras de tiro paralelas de igual longitud ordenadas en forma de paralelogramo como se ilustra a la derecha de la Figura 35. Los objetivos de esta configuración son cuatro:

1. Mantener una relación predecible entre los distintos componentes del armado de un abresurco. Por ejemplo, algunos abresurcos de las sembradoras de precisión tienen hasta seis componentes diferentes que siguen uno a otro en una relación fija. Si el conjunto fuera montado en una barra de tiro de un solo pivote (Figuras 35 y 36) y se moviera en forma de arco a medida que suben y bajan, la relación vertical entre los componentes traseros y delanteros se alteraría apreciablemente como si se movieran verticalmente.
2. Mantener un ángulo dado de aproximación de los componentes críticos con el suelo, sin considerar la posición vertical del montaje del abresurco. Por ejemplo, los abresurcos de ala tienen las alas que se tuercen ligeramente hacia abajo y hacia delante a un ángulo de 5 a 7° con la horizontal, de modo que pueden operar a poca profundidad con las alas aun bajo tierra. Si el abresurco estuviera montado en una barra de tiro de un solo pivote, el ángulo preestablecido del ala debería ser incrementado en cerca de 10° para asegurar que un ángulo positivo del ala permanezca por debajo del arco del movimiento. Pero en la posición intermedia un ángulo de 10° podría limitar la menor profundidad de la sembradora porque las alas saldrían a la superficie del suelo.
3. Reducir la magnitud de las fuerzas opuestas a la fuerza de penetración. Si bien la ordenación en forma de paralelogramo puede tener poco o ningún efecto favorable sobre el componente vertical de tiro opuesto a la fuerza de penetración, hay otra fuerza que también se opone a la fuerza de penetración en las barras de tiro de un

solo pivote: es la fuerza rotatoria que surge del tiro horizontal del suelo que actúa hacia atrás en la base del abresurco, que está siempre ubicado más bajo que el pivote.

4. Para facilitar el modelo de brazos de arrastre cortos y largos sin cambiar de posición o la geometría de la aplicación de la fuerza de penetración. La fuerza mecánica de los paralelogramos es tal que si se aplica en parte una fuerza de penetración en uno de los brazos horizontales, habrá una fuerza de penetración resultante detrás de los pivotes. Más aún, si se une un bastidor rígido a la parte trasera de esos pivotes, la misma fuerza de penetración será aplicada a cualquier punto a lo largo del bastidor rígido. Dado que un abresurco unido a la parte posterior de los pivotes de un paralelogramo actúa como un bastidor rígido horizontal, este principio se aplica a los abresurcos montados en brazos paralelogramos.

En los modelos de sembradoras, esto permite que los abresurcos de diferentes longitudes estén unidos a las uniones de los paralelogramos que crean oscilaciones para obtener la separación de los residuos y cada abresurco sufrirá la misma fuerza de penetración del abresurcos vecino.

Si bien las mejores innovaciones y los arreglos geométricos recién discutidos son sumamente útiles para asegurar que los abresurcos para labranza cero reciban fuerzas de penetración constantes en el extenso rango de sus movimientos, se debe enfatizar que la magnitud y la dirección de las principales fuerzas opuestas (por ej., los componentes ascendentes verticales del tiro y la resistencia del suelo) varían con las condiciones del suelo y la posición del abresurco en cualquier momento y, por lo tanto, raramente son constantes. Por esta razón, ningún arreglo geométrico diseñado hasta ahora tiene la capacidad para mantener una fuerza de penetración neta y consistente sobre un abresurco.

Restablecimiento de la fuerza de penetración

Un elemento adjunto a los requisitos generales de la fuerza de penetración en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza cero es la variedad de métodos usados para asegurar que una sembradora y una sembradora de precisión restablecen las fuerzas de penetración al nivel preseleccionado después que los abresurcos han sido levantados de la tierra para su transporte. El movimiento repetitivo de bajar y levantar los abresurcos es más común en la labranza cero que en la labranza común porque las vueltas cerradas con los abresurcos en posición de trabajo en la labranza común son más dificultosas. Algunos de los sistemas usados son:

1. Retorno manual a la guía. Cuando una sembradora o una sembradora de precisión son diseñadas para levantar los abresurcos usando uno o más émbolos hidráulicos del marco de la máquina, al volver a poner esos émbolos en la posición original el operador observa una guía que indica hasta dónde se han extendido o contraído previamente los émbolos y puede detener el ciclo en ese punto. Es posible que los operadores se olviden de observar la guía y, además, que esa operación manual reiterada agregue fatiga al operador. Por otro lado, este sistema permite que la fuerza de penetración en todos los abresurcos sea alterada por el operador sin dejar el asiento del tractor. Si una sembradora o una sembradora de precisión tienen enganche de tres puntos montado en el tractor, o si tienen montado separadamente un juego de ruedas para el transporte, el ajuste de la profundidad se obtiene por lo general cambiando una unión mecánica, un tornillo específico o la presión en una sección independiente del sistema hidráulico. Este ajuste permanece inalterado durante las operaciones de siembra y transporte. El regreso de la máquina a la tierra después del

transporte automáticamente restablece la magnitud de la fuerza de penetración original ya que ningún elemento ha sido alterado durante el transporte. Si bien esto reduce el trabajo del operador, las alteraciones a la fuerza de penetración a menudo requieren que el operador descienda del tractor.

2. Retorno a una detención o presión automática. Cuando una sembradora o una sembradora de precisión están diseñadas para levantar y bajar los abresurcos hidráulicamente, una válvula ajustable de control hidráulico o mecánico puede ser colocada en la máquina de modo que un movimiento predeterminado o el aumento de la presión de aceite mueva la válvula y detenga el sistema hidráulico en cualquier posición según una fuerza de penetración dada. Si bien esto facilita el trabajo del operador, hay una cierta demora mientras el sistema hidráulico del tractor mueve el émbolo a la posición predeterminada y las alteraciones de la magnitud de la fuerza de penetración requieren que el operador descienda del tractor. Un fabricante de tractores durante muchos años proporcionó un sistema de modulación de la presión en el sistema hidráulico en sus tractores. Este sistema permitió que el operador variara la presión hidráulica desde el puesto del operador, lo que es útil para dar presión a los émbolos en las sembradoras o en las sembradoras de precisión. La repetibilidad de este sistema simplemente confiaba en establecer un punto de detención en los controles hidráulicos del tractor. El operador volvía la palanca a su posición en el sistema hidráulico después de levantar y transportar la máquina.
3. Retorno automático. En algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero se incluye una «válvula de memoria» que utiliza los émbolos hidráulicos para la fuerza de penetración y para levantar el equipo. La válvula de memoria incrementa la repetibilidad de los procesos durante los frecuentes transportes y siembras, ya que

almacena automáticamente la presión de la fuerza de penetración en el(los) acumulador(es) de aceite sobre nitrógeno cuando se levanta para el transporte. Una vez que la sembradora retorna al suelo, la válvula de memoria automática e instantáneamente vuelve a la presión original del sistema de la fuerza de penetración sin necesidad de más atención por parte del operador. Esto aumenta la velocidad del ciclo para el transporte y la siembra y viceversa, lo que es importante para la eficiencia del trabajo y la precisión del operador. La presión de penetración puede ser cambiada en cualquier momento desde el asiento del operador.

Uno de los mayores problemas que ocurren con las sembradoras para labranza cero es que la magnitud de las fuerzas involucradas para la penetración y el arrastre pone una alta tensión inusual en la carga de los brazos de arrastre, en los abresurcos y en sus soportes. Este problema es exacerbado cuando las sembradoras y las sembradoras de precisión deben hacer giros. Los diseños más duraderos han usado cojinetes de bolas o de rodillos en el pivote del brazo de tiro en lugar de simples bujes como ocurre en las sembradoras convencionales.

Lamentablemente, algunos de los diseños simples de brazos de tiro convencionales también se han aplicado a las sembradoras para labranza cero más económicas. Estas unidades a menudo tienen problemas con los componentes y pierden precisión. Por ejemplo, los pivotes de los brazos de arrastre se desgastan prematuramente, es difícil mantener los abresurcos alineados verticalmente a la línea de tiro, lo que da origen a una profundidad de siembra imprecisa y a una distancia no uniforme entre surcos. La frecuencia de las roturas es mayor y a menudo se perjudica el manejo de los residuos. Las fallas de estas máquinas causan cierta frustración en los operadores y, como resultado, se pierde entusiasmo por la labranza cero.

Configuraciones de las ruedas y el remolque

Una característica importante de la labranza cero comparada con la labranza común es la capacidad de los suelos para soportar el tráfico de las ruedas sin daño de compactación y su resistencia al daño causado por las ruedas de máquinas y camiones. Si bien ocurre una cierta compactación, las poblaciones de la fauna del suelo y las bacterias lo devuelven a niveles sostenibles en respuesta a una menor disrupción de la labranza y a un incremento de la materia orgánica, que son los procesos restauradores naturales de los suelos vivos y mejoran rápidamente la mayoría de sus problemas.

Las sembradoras para labranza cero y, en menor grado, las sembradoras de precisión son más pesadas que las mismas máquinas para labranza, pero raramente es necesario aumentar el área de contacto de las ruedas, gomas o patines en forma proporcional a su peso, en razón del incremento de la resistencia a la carga de los suelos en que operan. De cualquier manera, no es necesario someter incluso los suelos no labrados a presiones de las ruedas de las sembradoras que son significativamente mayores que las ruedas de los tractores que las arrastran. Las ruedas de los tractores por lo general ejercen presiones en la zona de contacto entre 50 y 85 kPa (7-12 psi) y en el ancho de las huellas de las ruedas a 30-50 kPa (4-7 psi).

Como ocurre con las sembradoras y las sembradoras de precisión convencionales hay varias opciones de configuraciones de las ruedas. Algunas de estas, con sus atributos y limitaciones, se esbozan a continuación.

Ruedas traseras

Estas ruedas están colocadas en ambos extremos posteriores del bastidor de las sembradoras y de las sembradoras de precisión. Algunas sembradoras de precisión, en razón de

su amplio espacio entre surcos, tienen las ruedas colocadas entre los surcos a alguna distancia de la parte trasera de la máquina. Esto reduce las fuerzas laterales durante los giros y permite que dos o más máquinas trabajen conjuntamente.

Los diseños con ruedas traseras son adecuados para máquinas de hasta seis metros de ancho. Estas ruedas ofrecen una excelente maniobrabilidad y estabilidad en las laderas y son por lo general más económicas que otras opciones. Muchas máquinas usan una sola rueda en cada extremo de la máquina, por lo que necesitan ruedas adicionales para ser transportadas. Algunos diseños tienen pares de ruedas con brazos móviles que duplican el área de contacto, reducen los golpes y ofrecen la posibilidad de adaptarlas al remolque trasero.

Las sembradoras y las sembradoras de precisión con ruedas traseras no son adecuadas para unir varias unidades en forma paralela. Cuando se contempla un trabajo en estas condiciones es necesario organizar su colocación en una configuración desalineada y marcos separados para remolque, como se ilustra en la Figura 37. Por otro lado, la labranza cero ahorra tanto tiempo, que anteriormente se dedicaba a la labranza antes de la siembra, que la necesidad de múltiples sembradoras y sembradoras de precisión se reduce considerablemente.

Ruedas anteriores y posteriores

Estas configuraciones presentan una o más ruedas de dirección en cada parte del frente o la parte trasera de la máquina y por lo menos dos ruedas fijas en el extremo opuesto. La configuración reduce la distancia lateral entre las posiciones de las ruedas lo que permite el diseño de máquinas más anchas que las máquinas de ruedas traseras. Dado que no hay estructuras para las ruedas en los extremos de las máquinas, es posible reunir varias unidades, como se ilustra en la Figura 38. Tal sistema



Figura 37 Sembradoras con ruedas posteriores colocadas en un arreglo múltiple exterior.

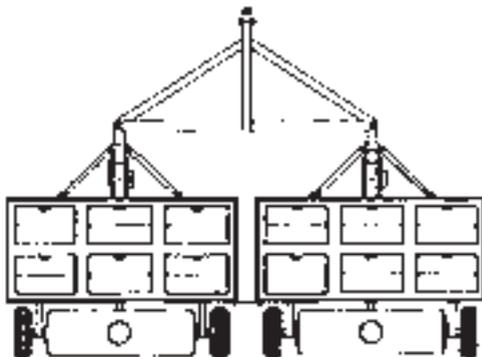
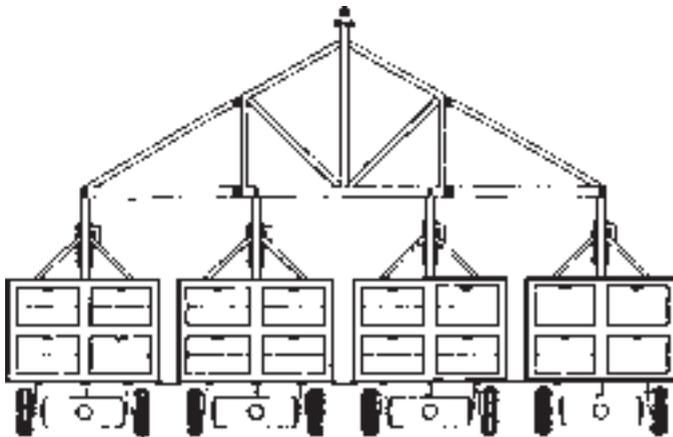


Figura 38 Sembradoras con arreglos de las ruedas anteriores y posteriores para operación de una unidad múltiple.

múltiple necesita una estructura de remolque mucho más simple que las máquinas con ruedas traseras.

Otra ordenación permite usar dos unidades sembradoras bien como sembradora de surcos angostos o como sembradora de precisión de surcos anchos. El espaciamiento de los surcos se establece según las necesidades en la configuración de la sembradora de precisión y se unen una detrás de la otra en una sembradora de precisión de doble ancho (Lámina 92). Cuando se requiere sembrar en surcos angostos las dos máquinas se unen en tándem, con los surcos de la unidad trasera dividiendo los surcos de la unidad delantera, lo que reduce así a la mitad el espaciamiento de los surcos.

Por supuesto, para que este sistema práctico sea funcional, los mecanismos de entrega de las semillas deben tener la suficiente precisión para satisfacer las necesidades de la sembradora de precisión y de los abresurcos. Pocas sembradoras son capaces de tener el grado de flexibilidad necesario para este trabajo. Es posible usar sembradoras dobles (que son

costosas y mecánicamente complicadas) o, de lo contrario, una u otra de las funciones de la entrega de las semillas queda comprometida.

Las opciones para las conversiones para el transporte con la configuración de ruedas anteriores y posteriores son múltiples y variadas. Un ejemplo de un arreglo práctico para una unidad sembradora de tres elementos se aprecia en la Lámina 93. Las dos unidades sembradoras externas se doblan hacia atrás después que la máquina se levanta del suelo para su transporte. Otras opciones incluyen doblar las unidades externas hacia arriba, pero esta opción está limitada a las sembradoras neumáticas y a las sembradoras de precisión con tapas que se bloquean para evitar el vuelco de los productos en las tolvas. Las tolvas para los productos en las sembradoras neumáticas están ubicadas en la unidad de la sembradora central y no participan en el doblado.

Otro arreglo para transportar dos sembradoras con ruedas anteriores y posteriores se muestra en la Figura 39.



Lámina 92 Unidades sembradoras dobles ordenadas en tándem para obtener una sembradora con espacio entre surcos reducido a la mitad.



Lámina 93 Sembradoras múltiples dobladas para el transporte.

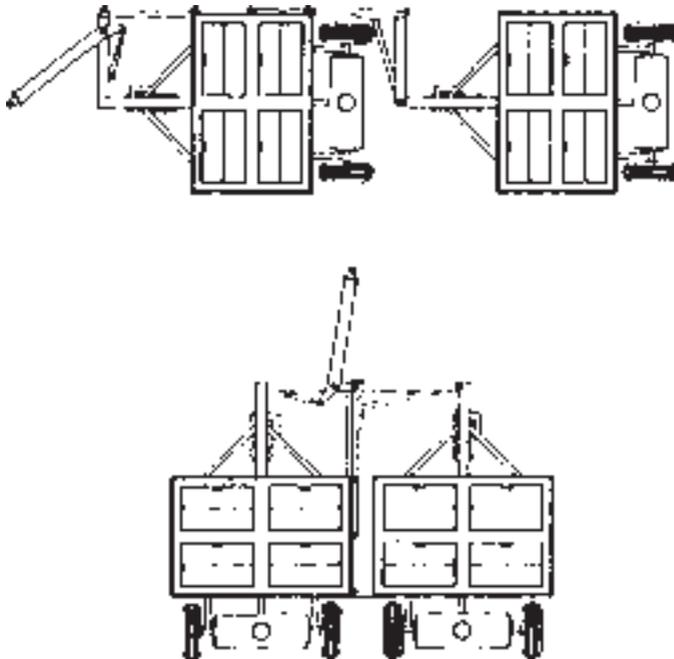


Figura 39 Un arreglo de remolque para sembradoras con dos ruedas anteriores y dos posteriores.

Adaptación de los tractores a las sembradoras y a las sembradoras de precisión

En la labranza convencional los tractores por lo general son seleccionados para adecuarse a los implementos que requieren mayor potencia, desde la primera labranza –por lo general una arada– hasta la siembra. Como las sembradoras y las sembradoras de precisión en la labranza convencional son los equipos que requieren menos potencia, los tractores raramente son seleccionados de acuerdo a esas necesidades, o viceversa. Por lo general se usa un tractor más pequeño para esas tareas.

En la labranza cero, la asperjadora es la única máquina de bajo requerimiento de potencia usada en el sistema. Las sembradoras y las sembradoras de precisión son los implementos que demandan más potencia y esta demanda puede exceder la potencia requerida por cualquiera de los implementos de labranza que estas reemplazan. Sin embargo, esto no significa que la labranza cero sea ineficiente en el uso de la energía; por el contrario, este único requerimiento de energía es varias veces más eficiente en el uso de la energía, contabilizada como litros de combustible usado por el tractor por hectárea sembrada, en todas las distintas operaciones necesarias, con menor insumo energético, hechas durante la labranza convencional.

Con las sembradoras de precisión, el número máximo de surcos que pueden ser sembrados con una sola máquina raramente es mayor de 12. La potencia requerida por estas máquinas difícilmente es, por lo tanto, un factor limitante, incluso bajo labranza cero, con las sembradoras para labranza cero que tienen hasta 50 abresurcos.

La primera vez que los agricultores enfrentan la labranza cero deben cambiar sus evaluaciones para adecuar correctamente la potencia de los tractores a los requerimientos de las sembradoras y de las sembradoras de precisión. Las dificultades surgen en varios aspectos:

1. Los agricultores no están acostumbrados a pensar en los requerimientos de potencia de las sembradoras.
2. Hay escasa información disponible para los agricultores acerca la potencia específica y/o los requerimientos de fuerza de arrastre de las diferentes sembradoras y sembradoras de precisión.
3. Dado que las sembradoras para labranza cero por lo general son más pesadas que las sembradoras para labranza convencional, serán necesarios algunos requisitos de potencia para mover el peso de la máquina, especialmente en zonas de laderas.
4. Dado que las sembradoras y las sembradoras de precisión trabajan por lo general en tierras no labradas y a menudo duras, son más sensibles a la velocidad que las sembradoras para labranza convencional, especialmente en lo que se refiere a la demanda de potencia.
5. Por otro lado, dado que la labranza cero es mucho más eficiente que la labranza convencional, las altas velocidades pueden no ser tan importantes para las sembradoras y las sembradoras de precisión.
6. A menudo, en la labranza cero la tracción de un tractor es más importante que la potencia disponible del motor; por lo tanto, es probable que sean más útiles los tractores con tracción en las cuatro ruedas.
7. Dado que cuando se siembra con sembradoras para labranza cero los giros en las esquinas son más difíciles que con las sembradoras en el sistema convencional, más campos son sembrados en fajas. Esto demanda giros agudos al inicio de las parcelas o giros cruzados en las esquinas, lo que exige una cierta capacidad de giros estrechos al tractor y a la sembradora.
8. Es probable que el uso anual del tractor para las sembradoras y las sembradoras

de precisión sea considerablemente reducido en la labranza cero comparada con la labranza convencional. Esto significa que los costos anuales del tractor son menores, que los tractores duran más tiempo y que son reemplazados en plazos más largos pero, sin embargo, el costo horario se puede incrementar.

9. Aumenta la necesidad de seguimiento continuo de las funciones de las sembradoras y las sembradoras de precisión desde el asiento del tractorista porque el agricultor que trabaja con labranza cero tiene solo una oportunidad para hacer las cosas correctamente.
10. El suelo en las huellas de las ruedas en labranza cero a menudo se afloja a causa de la gran demanda de tracción mientras que bajo labranza convencional resulta casi invariablemente compactado. Los tractores que trabajan cerca del límite de tracción causarán más suelo suelto y, por lo tanto, mayores diferencias en el comportamiento de los abresurcos entre aquellos que están dentro o fuera de las áreas de las huellas de las ruedas.

Es difícil generalizar los requisitos de potencia de las sembradoras para labranza cero porque tienen un gran rango de peso y arrastre. Ignorando el peso de la sembradora es posible hacer algunas generalizaciones a partir del Cuadro 27 acerca de los requerimientos de potencia de los abresurcos individuales para labranza cero. Si bien se muestran los requerimientos de arrastre para solo dos abresurcos (de disco triple y de ala), estos dos modelos están cercanos a cada uno de los extremos del rango de requerimientos para los abresurcos para labranza cero. Por lo tanto, sus requerimientos pueden reflejar un rango de necesidad de potencia para los abresurcos para labranza cero en general.

La potencia requerida para arrastrar un abresurco a través del suelo es dada por la expresión:

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{tiro (newton)} \times \text{velocidad (km/h)}}{3\,600}$$

o

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{tiro (libras)} \times \text{velocidad (millas/h)}}{375}$$

En el Cuadro 27 se observa que a una velocidad de 5 km/h (3 mph) un abresurco simple de triple disco podría requerir hasta 2,3 kW (3 HP) de potencia y un abresurco simple hasta 2,9 kW (3,8 HP). A 10 km/h (6 mph) los respectivos requerimientos de potencia serían de 4,6 kW (6 HP) y 5,8 kW (7,6 HP).

En general, los requerimientos de potencia de las sembradoras y las sembradoras de precisión varían entre 2 y 6 kW (2,5 y 8 HP) por abresurco, dependiendo de la velocidad de siembra, las condiciones del suelo, el tipo de suelo, la densidad y el estado de descomposición de las raíces en el suelo, el contorno del campo, la forma de trabajar el campo, el diseño del abresurco y el peso de la máquina. Considerando una eficiencia de tracción del tractor del 65 por ciento, este debería requerir un motor de una potencia comprendida entre 3 a 9 kW (4 a 12 HP) por abresurco, cifra que se aproxima a la experiencia de campo.

Almacenamiento y entrega de los productos

Para manejar productos tales como semillas, fertilizantes e insecticidas, las características más distintivas de las sembradoras para labranza cero, en comparación con las similares para labranza convencional, son la necesidad de espaciar ampliamente los abresurcos para separar los residuos superficiales. En el caso de las sembradoras de precisión los abresurcos están espaciados también ampliamente en una sola línea. No existe una distinción importante

entre las sembradoras de precisión para labranza cero y para labranza convencional.

Con las sembradoras, el espaciamiento mayor que el normal de los abresurcos por lo general se obtiene aumentando la distancia longitudinal entre los abresurcos alternados, dado que el espacio entre los surcos de los abresurcos no puede ser alterado sin afectar la agronomía del cultivo. Este incremento en el espaciamiento longitudinal da lugar a tubos largos para la entrega de las semillas y ángulos llanos de caída entre las tolvas y los abresurcos, si es que son provistos con una sola tolva. Tales ángulos llanos interrumpen el flujo gravitacional normal, especialmente en las laderas. El problema es superado en una de las siguientes formas:

1. Levantando las tolvas de los productos a una altura mayor para incrementar los ángulos de caída en los tubos (Lámina 94).
2. Duplicando el número de tolvas de modo que cada una esté colocada sobre los abresurcos a una altura y ángulo de entrega normales.

3. Utilizando la entrega neumática del producto a los abresurcos desde una tolva central (Lámina 55).

Existen argumentos en favor y en contra de cada una de las opciones. Por ejemplo, la duplicación del número de las tolvas aumenta el costo de las sembradoras pero incrementa la cantidad de producto que puede ser llevado y, por lo tanto, reduce el número de veces que la máquina está fuera del trabajo activo para llenar la tolva y, temporalmente, agrega peso a la máquina lo que puede agregar fuerza de penetración. Los sembradores neumáticos son poco costosos pero los modelos grandes llevan el peso del producto en un eje separado donde ni este ni el peso de las mismas tolvas contribuyen al peso general de la máquina para agregar fuerza de penetración.

Las tolvas altas son económicas pero difíciles de llenar y contribuyen a la inestabilidad de la sembradora en las laderas. En las laderas pronunciadas un modelo de sembradora con tanques para fertilizante líquido ofrece la posibilidad de deslizar el tanque hacia el lado



Lámina 94 Una sembradora para labranza cero con tolvas elevadas para los productos.



Lámina 95 Una sembradora para labranza cero con un tanque deslizante para fertilizante líquido.

superior de la inclinación de la ladera para mejorar la estabilidad (Lámina 95). No se conocen modelos que puedan cambiar la posición de las tolvas sobre la marcha.

Dado que los residuos superficiales comunes en la labranza cero ofrecen un hábitat favorable para las plagas –y sus predadores– a menudo es necesario aplicar insecticidas con la semilla en el momento de la siembra. Para ello son comunes tolvas para gránulos secos y/o para insecticidas líquidos en algunos modelos de sembradoras y sembradoras de precisión. Algunos fabricantes de sembradoras de precisión han colaborado con los fabricantes de pesticidas para proveer sistemas cerrados de transferencia de insecticidas. Esto proporciona un manejo más seguro de los pesticidas si bien los operadores deben tener cuidado con los residuos de pesticidas en las sembradoras y las sembradoras de precisión durante el mantenimiento.

El concepto de siembra y aspersión simultánea montando una barra pulverizadora sobre la sembradora o la sembradora de preci-

sión fue investigado en Nueva Zelanda. Si bien tal diseño podría haber hecho que la labranza cero fuera realmente una operación única, la idea no fue considerada práctica por varias razones:

1. Fue posible sembrar en días en los cuales no era aconsejable o posible asperjar debido al viento o la lluvia que podían comprometer la eficacia de las distintas formulaciones de herbicidas o pesticidas. Al restringir las oportunidades de siembra a las oportunidades en que era aconsejable, se perdían algunas de las ventajas del ahorro de tiempo de la labranza cero.
2. Se introducía otra función adicional que debía ser observada y/o supervisada por el operador, lo que aumentaba el potencial de errores.
3. Algunos abresurcos desplazan o levantan suelo y causan polvo que inactiva los herbicidas más comúnmente usados en la labranza cero (glifosato y paraquat). La aspersión es más precisa con una operación

separada hecha por un especialista antes de la siembra.

Si bien la aplicación de herbicidas que cubren todo el campo en el momento de la siembra no parece ser práctica, la aplicación en bandas se ha usado exitosamente (ver Capítulo 12).

Resumen de modelos de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas para trabajos en gran escala

1. Los modelos de sembradoras para labranza cero deben ser más elaborados que aquellos para labranza convencional.
2. Las sembradoras para labranza cero son invariablemente más pesadas que las sembradoras para labranza convencional y están sometidas a mayor estrés durante la operación.
3. El desgaste y el mantenimiento general son más importantes y costosos en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza cero que en las sembradoras y en las sembradoras de precisión para labranza convencional.
4. La potencia del motor del tractor requerida para operar las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero varía entre 3 a 9 kW (4 a 12 HP) por abresurco.
5. Los requerimientos de potencia para las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero son más sensibles a la velocidad de operación que aquellos para las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza convencional.
6. En general, para la siembra en labranza cero se necesitan tractores más grandes.
7. En la labranza cero los tractores operan menos horas por año que los tractores en la labranza convencional, sus costos operativos por hora son más altos que los últimos pero los costos anuales totales son menores.
8. El total de la energía consumida por hectárea sembrada y los costos operativos anuales de todos los equipos son mucho más bajos en la labranza cero que en la labranza convencional.
9. Las sembradoras para labranza cero son generalmente más angostas que las sembradoras para labranza convencional en virtud de los mayores requerimientos de potencia. Las sembradoras de precisión para labranza cero pueden tener el mismo ancho de las sembradoras de precisión para labranza convencional en razón del menor número de abresurcos.
10. Aunque no es necesario avanzar tan rápidamente durante la siembra y la siembra de precisión en la labranza cero como en la labranza convencional en razón de la eficiencia del tiempo del sistema en su conjunto, algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero son en realidad más veloces que las mismas máquinas para labranza convencional.
11. El análisis del tiempo necesario para cubrir un campo con una sembradora relativamente angosta para labranza cero comparada con la sembradora más ancha para labranza convencional indica que esta última requiere más tiempo para cumplir operaciones homólogas.
12. Los sistemas de fuerzas de penetración de las sembradoras y las sembradoras de precisión deben ser más desarrollados, ejercer mayor fuerza y tener una mayor amplitud de recorrido que las máquinas para labranza convencional.
13. La geometría de los abresurcos para labranza cero de las uniones de la barra de arrastre deben compensar el incremento de las fuerzas de arrastre.
14. Las barras de arrastre en paralelogramo con sistemas hidráulicos presurizados con gas o aceite para la fuerza de penetración

- proporcionan fuerzas de penetración y profundidades de siembra más uniformes.
15. Los bastidores de las sembradoras y de las sembradoras de precisión deberían ser sobre ruedas para evitar o minimizar los golpes en el terreno desuniforme.
 16. El giro en los ángulos del campo con las sembradoras y las sembradoras de precisión es más dificultoso en la labranza cero debido a la firmeza de los suelos.
 17. La firmeza del suelo en la labranza cero soporta mejor el arrastre de las ruedas en los giros que en la labranza convencional.
 18. En la labranza cero son deseables sistemas automatizados que retornan rápidamente a valores preseleccionados de las fuerzas de penetración al abresurcos después de levantarlos para el transporte en razón de que es necesario levantar los abresurcos con mayor frecuencia.
 19. La configuración de las sembradoras y las sembradoras de precisión con las ruedas posteriores son generalmente la versión más económica pero tienen un ancho máximo de aproximadamente 6 metros.
 20. La configuración con ruedas anteriores y posteriores permite mayores profundidades de siembra y la unión paralela simple de dos o más sembradoras o sembradoras de precisión.
 21. La entrega de los productos de las tolvas a los abresurcos para labranza cero es en cierto modo más compleja que en la labranza convencional a causa de la necesidad de un mayor espaciamiento entre los abresurcos adyacentes para labranza cero a fin de separar los residuos de la superficie.
 22. Dado que los abresurcos en las sembradoras de precisión para labranza cero y para labranza convencional están ampliamente separados, hay menores requerimientos especiales para la entrega de los productos en las sembradoras de precisión para labranza cero en comparación con las sembradoras.

14

Modelos de sembradoras y de sembradoras de precisión – máquinas para pequeña escala

Fatima Ribeiro, Scott E. Justice, Peter R. Hobbs y C. John Baker

La labranza cero en pequeña escala no solo es práctica sino que también puede ser el mejoramiento más importante de la producción agrícola y de la protección de los recursos que ocurre en los últimos cien años en los países en desarrollo.

Características

La labranza cero en pequeña escala por lo general se caracteriza por las pequeñas dimensiones de las fincas y la limitada disponibilidad de energía, acompañada a menudo por escasos recursos. La operación con implementos para tractores de gran tamaño no es práctica ni posible para la mayoría de los agricultores en fincas pequeñas. Por estas razones, en casi todos los casos los pequeños agricultores usan equipos manuales o sembradoras y sembradoras de precisión de uno o dos surcos. También existen algunas sembradoras de tres surcos, pero se encuentran con poca frecuencia.

El número limitado de surcos tiene influencia sobre varias funciones, entre ellas el modelo de los abresurcos. Algunas de estas influencias son positivas, otras no. Por ejemplo, muchos de los modelos más avanzados de abresurcos analizados anteriormente requieren hasta 12 HP por abresurco que a menudo están fuera del alcance de los pe-

queños agricultores. Además, los abresurcos no simétricos, tales como los de discos angulados, raramente son considerados como una opción para las máquinas de un solo surco porque las fuerzas laterales son demasiado difíciles de contrarrestar y al mismo tiempo mantener la máquina en línea.

Pero la labranza cero en pequeña escala se beneficia con la atención directa del operador en cada metro trabajado, mientras que las malezas y los residuos a menudo son manipulados manualmente o recolectados para ser usados como combustibles o como cama para los animales.

Otro beneficio es que la mayoría de los abresurcos en pequeña escala colocan al mismo tiempo las semillas y el fertilizante en ranuras separadas. Desde este punto de vista pueden ser consideradas máquinas más desarrolladas que las similares más grandes, algunas de las cuales no fertilizan en condiciones de labranza cero en razón de la complejidad de obtener esa función con múltiples surcos poco espaciados.

Por esta razón, mientras que los equipos en pequeña escala podrían estar desaventajados en algunos aspectos en razón de la imprescindible simplicidad de las sembradoras, de las sembradoras de precisión y de la potencia disponible, pueden, por esas razones, beneficiarse en otros aspectos.

Disponibilidad de equipos

Existe una amplia gama de equipos de siembra para labranza cero en pequeña escala, cada uno de los cuales es adecuado para diferentes fuentes de potencia y condiciones de campo. Esta variabilidad incluye sembradoras mecánicas manuales, sembradoras para tracción animal, equipo para labranza a motor y sembradoras para tractores de baja potencia. A pesar de las diferencias del requerimiento de potencia, los modelos de la mayoría de las máquinas pequeñas satisfacen la necesidad de poder manejar los residuos, abrir una ranura adecuada, dosificar las semillas y tal vez el fertilizante, distribuirlos al (a los) abresurco(s), colocarlos en el suelo en forma aceptable y cubrir y comprimir las semillas y el fertilizante.

Sembradoras mecánicas manuales (*Matraca*)

Las sembradoras mecánicas manuales, conocidas comúnmente como *Matraca*, son muy populares entre los pequeños agricultores. Algunas son el elemento primario para la siembra en labranza cero. Otras se utilizan para llenar los vacíos en los cultivos sembrados con sembradoras en líneas. Dado que la capacidad para manejar los residuos de las pequeñas sembradoras y sembradoras de precisión a menudo es limitada, se encuentran espacios vacíos cuando hay problemas con el manejo de los residuos a lo largo del surco.

Las sembradoras *Matraca* pueden tener tolvas separadas para la semilla y el fertilizante o solo una tolva para las semillas. La Lámina 96 ilustra una sembradora *Matraca* de dos tolvas.

Una forma común de dosificar las semillas usada en la sembradoras manuales es un plato rectangular colocado dentro de la tolva. Cuando se tiran las manijas hacia afuera las semillas caen en los agujeros y salen por el tubo de descarga. Hay platos con diferentes medidas

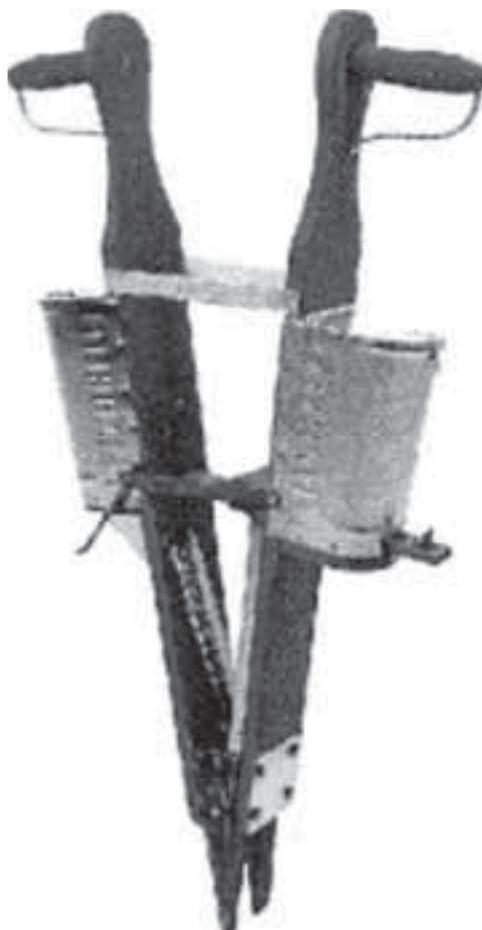


Lámina 96 Sembradora *Matraca* con tolvas para las semillas y el fertilizante.

de agujeros de acuerdo a la medida de las semillas a sembrar. La densidad de siembra puede ser ajustada de acuerdo al número de agujeros en el plato de semillas que quedan expuestos hacia la salida del tubo.

Una parte de la atracción de las sembradoras *Matraca* es que no requieren acceso a potencia animal o motriz, son de bajo costo, livianas y fáciles de utilizar, si bien es necesario tener cierta capacidad para su manejo (Ribeiro, 2004). Son usadas indistintamente por hombres y mujeres, lo cual aumenta la disponibilidad de mano de obra de los pequeños agricultores,

aunque recordamos, sin embargo, que la labranza cero en pequeña escala reduce la necesidad de mano de obra.

Al plantar las semillas en huecos hay un disturbio mínimo del suelo de modo que la germinación de las semillas de las malezas se reduce considerablemente; esto da lugar a una menor necesidad de escardar entre las plantas. Las dimensiones reducidas de los aparatos los hacen adecuados para operar en zonas de laderas, pedregosas o con troncos y para la siembra intercalada (por ej., siembra de mucuna entre surcos de maíz) y para sembrar en zonas de barbechos.

Su uso es apropiado para suelos livianos ya que la penetración en algunos suelos pesados sin labranza es dificultosa. Cuando se trabaja en condiciones húmedas es posible que, en algunos suelos arcillosos, el suelo se adhiera a las láminas y la cobertura de las semillas pueda ser afectada por los huecos en forma de V y por el disturbio mínimo (Ribeiro, 2004). Esta limitación ocurre frecuentemente con las ranuras continuas en forma de V y no está limitada a los huecos comunes. Sin embargo, en la fase de transición de la labranza convencional a la labranza cero, puede ser difícil usar una sembradora Matraca; en ese caso es posible usar un rasgador para aflojar fajas angostas del terreno en las cuales la sembradora Matraca pueda colocar las semillas.

Muchas sembradoras Matraca u otros aparatos similares para labranza cero son adaptaciones de aparatos diseñados para trabajar en suelos labrados. La modificación principal ha sido incluir puntas más largas y más angostas para facilitar la penetración. Tal mejoramiento requiere menor fuerza de penetración por parte del operador y ayuda a cortar los residuos y penetrar en el suelo, lo que da lugar a ranuras menos abiertas. Esto ha resultado en un aumento de la emergencia del 28 y del 23,6 por ciento en maíz y caupí, respectivamente, en comparación con los resultados obtenidos con puntas cortas que operaban sobre residuos pesados (Almeida, 1993).

Sembradoras en línea (de tracción animal o montadas en el tractor)

Los principios de la operación de las pequeñas sembradoras para tracción animal o montadas en el tractor para la labranza cero son los mismos que para las máquinas más grandes. Algunas de esas características se analizan líneas abajo y se hacen comparaciones entre las máquinas grandes y las pequeñas en lo que se refiere a las condiciones de operación.

Fuerza de penetración

En el caso de las máquinas pequeñas existe la oportunidad de colocar pesas como método para obtener fuerza de penetración; también se usan resortes pero los sistemas hidráulicos son raros. De cualquier manera las pesas cumplen las mismas funciones del sistema hidráulico a un costo mucho menor. En su forma más simple y económica, las pesas pueden ser colocadas por el operador desde una plataforma en la máquina. La Lámina 97 muestra una máquina para un solo surco montada directamente en un pequeño tractor. Presenta la ventaja de que las pesas se montan o se quitan fácilmente y el operador sólo debe subir a la plataforma.

Dado que las pesas aplican una consistente fuerza de penetración sin considerar la posición vertical del abresurcos, actúan en forma similar a los sistemas hidráulicos de aceite sobre gas aplicados a émbolos individuales en cada abresurcos, que son una característica de algunos de los modelos más avanzados de grandes sembradoras para labranza cero.

Por ello, algunas sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero en pequeña escala pueden proporcionar un sistema de fuerza de penetración más adelantado que algunas máquinas grandes menos desarrolladas. La modulación electrónica de la fuerza de penetración en respuesta a la dureza del suelo no puede ser obtenida en las máquinas pequeñas y, viceversa, la aplicación directa de pesas tampoco es una opción práctica para las máquinas más grandes. Los operadores deberían

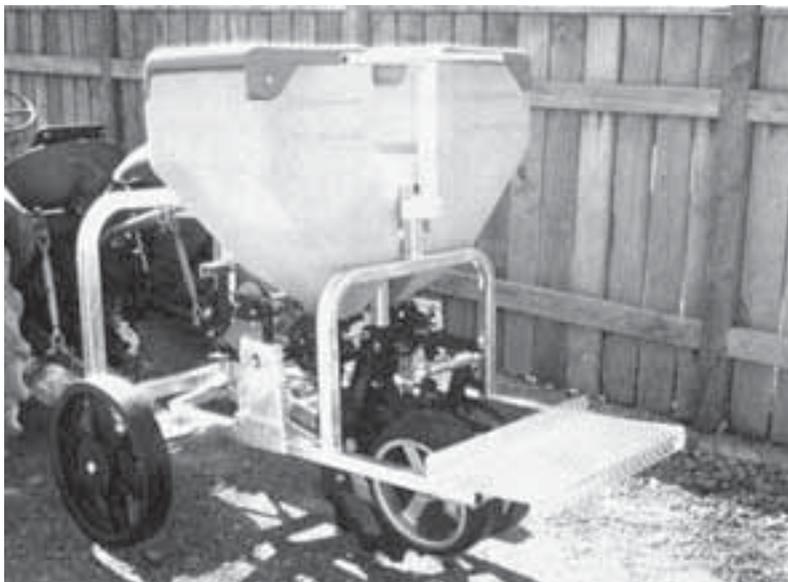


Lámina 97 Sembradora para un solo surco montada en un tractor que obtiene su penetración en base a pesas.

agregar o quitar numerosas pesas cada vez que la fuerza de penetración varía. Esto podría ser aceptable en una máquina de un solo surco pero no en el caso de una máquina para múltiples surcos.

La Lámina 98 muestra los principales componentes de una sembradora típica para labranza cero en pequeña escala. El disco (1) corta la paja (la efectividad del corte de la paja en esta forma en muchos casos es insuficiente; ver Capítulo 10). Los aparatos para dosificar están colocados en la base de las tolvas para las semillas (2) y el fertilizante (3). Los abresurcos (4 y 5) abren las ranuras para colocar el fertilizante y las semillas, respectivamente. Por lo general, el abresurco del fertilizante (4) opera más profundamente y fuera de la línea del abresurco de las semillas (5), tal como ocurre en las máquinas más grandes. La rueda compactadora (6) controla la profundidad de siembra y aprieta el suelo sobre la ranura. La efectividad de las ruedas compactadoras sobre el suelo de la ranura,

comparada con la operación en la base de la ranura antes de la cobertura, se analizó en el Capítulo 6. En general, el trabajo más importante de las ruedas compactadoras, que operan tal como se muestra en la Lámina 98, es sobre todo el de cobertura, además de mejorar el contacto suelo-semilla.

Discos

Todos los principios de manejo de los discos y los residuos discutidos en el Capítulo 10 se aplican igualmente a las máquinas en pequeña escala, excepto en el caso de las máquinas de un surco en las que hay un mayor espacio alrededor del abresurco para que los residuos caigan sin bloquear la máquina.

La mayoría de las sembradoras para labranza cero en pequeña escala tienen discos, la efectividad de los cuales depende del diámetro y diseño del disco (planos, con muescas, ondulados o cóncavos), las condiciones del suelo, las condiciones de los residuos y los ajustes de la sembradora. Un mal corte de los residuos da

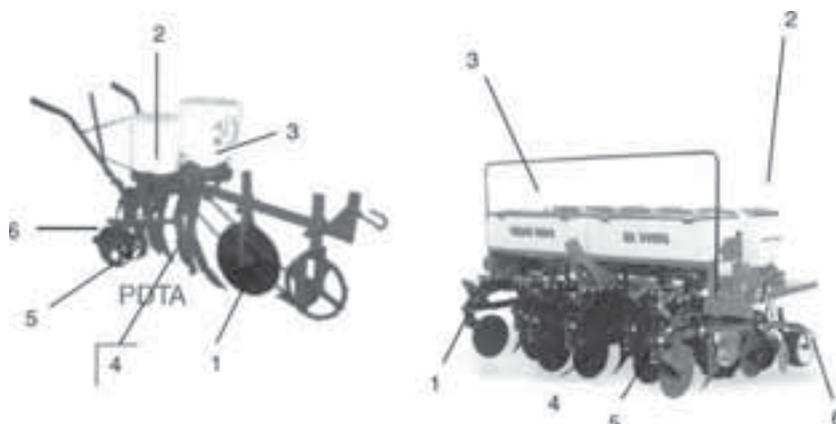


Lámina 98 Principales componentes de una sembradora típica para labranza cero en pequeña escala, para tracción animal o montada en un tractor.

lugar al atascamiento de la paja sobre los componentes de la siembra, lo que a su vez causa problemas para la colocación y cobertura de la semilla y el fertilizante e incluso para la dosificación de ambos elementos.

La distribución uniforme de la paja da lugar a que se enrede en los discos y envuelva los residuos en los abresurcos, si bien Casão y Yamaoka (1990) indican que la severidad del bloqueo puede ser reducida –raramente eliminada– con el incremento de la distancia entre el disco y los dientes fijos que los siguen; los autores recomiendan una distancia de 25 mm.

Por otro lado, algunas de las combinaciones más exitosas de dientes y discos tienen los discos muy cercanos a los dientes. Un ejemplo se aprecia en la Lámina 99 (diente central) en el cual se forma un canal en el borde delantero del diente especialmente para que el disco entre en el mismo. La Lámina 25 muestra la versión de disco de un abresurco de ala en el cual dos dientes frotran contra la cara lisa de un disco.

Abresurcos

Las funciones de los abresurcos en la labranza cero en pequeña escala no son diferentes

de aquellas que cumplen las máquinas en gran escala, tal como se mostró en los Capítulos 4, 5, 6 y 7. En las sembradoras en pequeña escala con abresurcos con dientes debería haber un ajuste independiente del abresurco del fertilizante de modo que pueda ser colocado más profundamente que las semillas (Van Raij *et al.*, 1985). Si bien la colocación del fertilizante debajo de la semilla en la labranza cero no siempre da lugar a los mejores rendimientos (ver Capítulo 9), en las sembradoras y en las sembradoras de precisión en pequeña escala es una opción más válida que la colocación del fertilizante a lo largo del surco de la semilla, porque la última opción requiere que el abresurco del fertilizante opere en tierra nueva y necesita más potencia que cuando ambos abresurcos –semillas y fertilizante– operan a distintas profundidades en una ranura común. De cualquier manera, el fertilizante colocado dentro de la zona de la semilla es sin duda superior a la siembra a voleo que causa un acceso lento del cultivo al mismo y un incremento del crecimiento de las malezas.

Como ocurre con las máquinas grandes también existen ventajas para las ranuras con disturbio mínimo (ver Capítulos 5, 10 y 13). Mientras que la elección del tipo de abresurco



Lámina 99 Distintos abresurcos de dientes usados en sembradoras de precisión para tracción animal y labranza cero. El abresurco central tiene un surco en su borde delantero por el cual pasa el disco delantero.

podría depender de la resistencia del suelo a la penetración y la resistencia que opone el corte de los residuos, no es posible que los agricultores en pequeña escala que aplican la labranza cero cuenten con más de una máquina, como ocurre con los grandes productores.

Por lo tanto, para que estas máquinas sean útiles para los distintos agricultores, es inevitable que la elección de los abresurcos preferidos sea hecha en función de la mayor gama de condiciones posibles. La labranza tiene como objetivo reducir la variabilidad física entre los distintos tipos de suelos, de modo que las sembradoras no tengan que enfrentar condiciones variables, pero cuando se elimina el proceso de labranza el énfasis se dirige a la capacidad de los abresurcos para enfrentar esta variabilidad sin otra ayuda. Por definición, esto demanda abresurcos para labranza

cero más evolucionados, sin tener en consideración la escala de operación.

Los abresurcos de disco (ranuras en V, cobertura Clase I) se usan generalmente en las sembradoras y en las sembradoras de precisión en pequeña escala. Las ranuras son superficialmente angostas y pueden ser compactadas en su base y en los lados pero requieren menos potencia que los abresurcos de discos con dientes que tienen menos tendencia a la compactación. Con los abresurcos de doble disco de diámetro diferente, al ser estos de menor tamaño, giran más rápidamente que el disco grande y se crea un efecto de corte o «guillotina» (Lámina 3).

En la Lámina 99 se aprecian una serie de abresurcos de dientes. Por lo general, los dientes requieren menos fuerza de penetración que los abresurcos de doble disco, lo que contribuye a mantener una profundidad de siembra más uniforme, siempre que esté incluido un mecanismo de control de profundidad. Los dientes se prefieren en los suelos duros si bien su fuerza de arrastre puede resultar excesiva para la potencia disponible. Además, los dientes son susceptibles a bloquearse con residuos y no son adecuados para zonas pedregosas.

De cualquier manera, la mayoría de las sembradoras de precisión usadas en la agricultura en pequeña escala tienen dientes en razón de su mejor penetración en la tierra dura y de su facilidad de mantenimiento. Cuando el encostamiento del suelo es un problema, por ejemplo después del pisoteo del ganado sobre suelo húmedo, solamente las sembradoras de precisión con abresurcos de dientes montadas en un tractor pueden romper la compactación de la superficie del suelo, aun cuando esta sea de solo 100 mm.

Aparatos para dosificar las semillas

Los investigadores debaten acerca de la importancia del espaciamiento de las semillas a lo largo del surco en algunos cultivos como el maíz (Sangoi, 1990; Rizzardi *et al.*, 1994). Las últimas evidencias indican que la

emergencia uniforme de las plantas a lo largo del surco puede ser más importante que el espaciamiento para reducir la competencia entre las plantas pequeñas y las plantas grandes. Pero, si bien en la labranza común se acepta la norma del «espaciamiento perfecto», quienes son favorables a la labranza cero también deben satisfacer este requisito para no generar un factor negativo contra la labranza cero.

Los aparatos para la dosificación de las semillas son responsables de la regulación de la densidad de siembra (número de semillas/m²) y el espaciamiento entre las semillas (regularidad del espaciamiento entre las semillas dentro del surco); de esta manera se asegura su precisión.

Los pequeños agricultores siembran la mayoría de los cultivos en surcos anchos; por lo tanto, la colocación individual de las semillas es importante. Por esta razón, en su diseño se enfatizan los mecanismos de siembra y requerimientos de potencia como criterios prioritarios. Esto contrasta con las grandes sembradoras de precisión para labranza cero en las que el microambiente de las ranuras, el manejo de los residuos y la colocación del fertilizante en bandas asumen por lo menos una importancia igual al espaciamiento de las semillas y a los requerimientos de potencia.

Las experiencias de labranza cero en Brasil ofrecen comparaciones y contrastes interesan-

tes entre las máquinas para siembra en pequeña escala y las máquinas para ser arrastradas por el tractor. Ambos sistemas se usan ampliamente en todo el país en diversas zonas climáticas y socioeconómicas, incluso en áreas relativamente cercanas entre sí.

Los aparatos usados en Brasil para dosificar las semillas en las sembradoras de precisión para tracción animal en labranza cero presentan todos los mismos platos con el sistema por gravedad que se usan en las sembradoras de precisión montadas en tractores, o sea, platos de hierro fundido o de plástico. La Lámina 100 muestra un aparato para dosificar las semillas y varios platos diferentes. Algunos fabricantes proveen platos para semillas adecuados para semillas pequeñas (por ej., canola, vicia, rábano forrajero) así como también para maíz y otras semillas grandes.

El uso de tales aparatos ha sido favorecido por su costo relativamente bajo, dado que en muchos países en los que no existe la pequeña agricultura estos aparatos funcionan al vacío, con presión de aire o del tipo de «dedos», lo que implica que la semillas son levantadas, sopladadas o atrapadas contra platos verticales en lugar de caer por gravedad en los huecos o muescas de los platos horizontales. Los mecanismos de siembra con platos verticales son más rápidos y menos sensibles a la forma de las semillas que los platos sembradores horizontales,

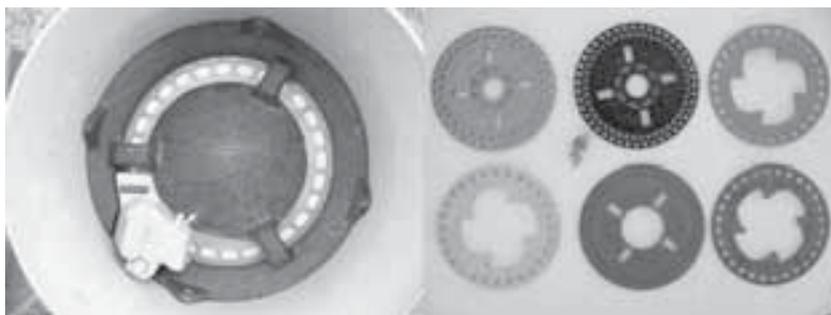


Lámina 100 Plato para el aparato dosificador de semillas (izquierda) usado en sembradoras de precisión y varios tipos de platos para semillas (derecha).

pero también son más costosos. Por supuesto, los platos para los sistemas al vacío o con aire también requieren un ventilador para hacerlos funcionar, el cual podría ser difícil de instalar y utilizar en una máquina para tracción animal sin motor.

Los platos distribuidores horizontales son un sistema muy antiguo, refinado y bien probado anterior a los sistemas de platos verticales, actualmente de uso común en las sembradoras de precisión. No es sorprendente, por lo tanto, que Ribeiro (2004) evaluara en Brasil la uniformidad de distribución de las semillas de maíz a lo largo del surco con cuatro modelos de platos sembradores y que no encontrara diferencias significativas entre los modelos en la proporción de espacios normales, salteados y múltiples. Los resultados se resumen en la Figura 40.

Para ser más efectivos los platos horizontales requieren que la semilla haya sido clasificada por tamaño uniforme y que los huecos de los platos se correspondan con el tamaño seleccionado de las semillas. Esto requiere

contar con varias medidas de platos y alguna experiencia cuando se cambia el tamaño de las semillas. Sin embargo, con un número limitado de surcos y con pequeñas cantidades de semilla, este no es un trabajo difícil, comparado con las máquinas para surcos múltiples, pero subraya la importancia de poder cambiar los platos sin vaciar toda la tolva de semillas. La Lámina 101 muestra un sistema cerrado de tolva que permite cambiar el plato sin que caigan las semillas.

Aparatos para dosificar el fertilizante

Los distintos tipos de aparatos para dosificar el fertilizante que se encuentran en las máquinas para labranza cero en pequeña escala incluyen un fondo rotativo, un tipo de tornillo sin fin, celdas con muescas y ruedas en estrella (Lámina 102). La velocidad de descarga de los tipos de fondo rotativo y de ruedas en estrella es controlada por medio de una salida ajustable mientras que los tipos de tornillos sin fin y de celdas con muescas se controlan cambiando su velocidad de rotación en

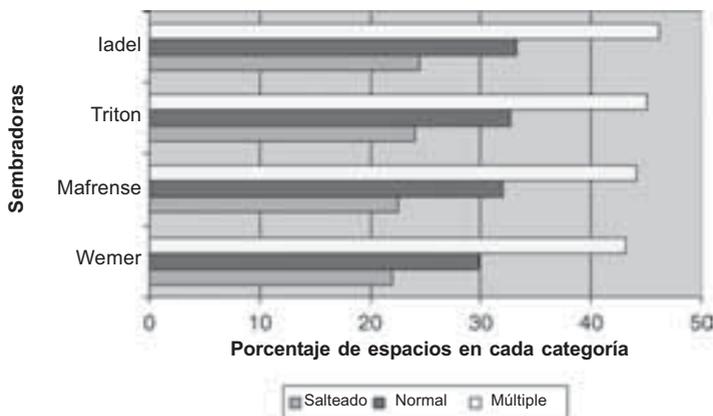


Figura 40 Porcentaje de espacios normales, salteados y semillas múltiples en cuatro modelos de sembradoras de precisión para tracción animal y labranza cero (NT) (Ribeiro *et al.*, 1998). Los criterios para la clasificación del espaciamiento se basan en Kurachi *et al.* (1993). Cada cultivo tiene un espaciamiento ideal (X_{ref}) que depende del número recomendado de plantas/m. Por ejemplo, para el maíz la recomendación es de 7 semillas/m, por lo tanto X_{ref} es $1,00/6 = 0,17$ m. Así se establecen las siguientes clases: a) normal ($X_{ref} < X_i < 1,5 X_{ref}$), b) dobles ($X_i > 1,5 X_{ref}$) y c) salteadas ($X_i < 0,5 X_{ref}$).



Lámina 101 Sistema cerrado de tolva para facilitar el cambio de plato.

relación con la velocidad sobre la tierra (Ribeiro *et al.*, 1998).

Ruedas compactadoras

Las ruedas compactadoras varían en su diseño y la mayoría están hechas de plástico o

de acero. Las ruedas en forma de V son usadas en el caso en que el suelo disturbado por los abresurcos de dientes deba ser recogido y colocado dentro de las ranuras abiertas. Una buena compactación y cobertura dependen de profundidad de la colocación de la semilla, del tipo de la rueda de compactación y de la humedad del suelo. Las ruedas con el centro hueco son mejores para los suelos con tendencia al encostramiento ya que comprimen el suelo en forma lateral contra las semillas.

Requisitos de potencia y facilidad de manejo

El manejo de las sembradoras de precisión pequeñas requiere una participación más activa del operador que en las máquinas grandes. Por lo tanto, es importante que tengan facilidad de operación. Por ejemplo, la mayoría de las sembradoras de precisión pequeñas requieren que el operador la tome de un par de manijas para conducirla y para controlar los animales de tiro. En las máquinas pequeñas montadas sobre un tractor, un segundo operador controla el tractor. En cualquier caso, los requerimientos de energía son importantes pero, dado que los abresurcos usados en las pequeñas sembradoras de precisión son similares a los que se usan en las máquinas más grandes, todas las fuerzas y principios de



Lámina 102 Dos ejemplos de aparatos dosificadores del fertilizante usados en las sembradoras de precisión para labranza cero. A la izquierda: celda con muescas, a la derecha, rueda en estrella.

la reacción del suelo se aplican igualmente a ambos tipos de máquinas.

En el caso de siete máquinas estudiadas por Ribeiro *et al.* (1998), cuatro de ellas tenían abresurcos de dientes y tres tenían abresurcos de doble disco. Ralisch *et al.* (1998) evaluaron las necesidades de tiro y energía de una pequeña sembradora de precisión con abresurcos de dientes para semillas y fertilizante, en un suelo sin labrar de relativamente baja densidad, $1,07 \text{ g/cm}^3$, que operaba a 100 mm de profundidad. Los autores registraron una fuerza de tiro de 834 N, que es menos de la mitad del valor registrado por Baker (1976a) para un abresurco simple de ala (ver Capítulo 13).

Las fuerzas de tiro varían considerablemente con la resistencia del suelo, que es influenciada por el contenido de humedad, el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica y el tiempo transcurrido bajo labranza cero. Por lo tanto, es difícil comparar los tipos de abresurcos (o, igualmente, las sembradoras) bajo diferentes condiciones. Sin embargo, a 2,4 km/h la máquina probada por Ralisch *et al.* (1998) requería una fuerza de tiro de 1,4 kW o aproximadamente 3,4 kW (5 HP) de fuerza del motor del tractor (con una eficiencia de tracción de 0,65). Esto se compara con las sembradoras más grandes que para operar a 16 km/h por lo general requieren de 4 a 9 kW (5-12 HP) de fuerza del motor por cada abresurco. Estas velocidades tan altas no se pueden obtener con las máquinas pequeñas, incluso cuando hay suficiente energía disponible, en razón de la dificultad para controlarlas, especialmente cuando el operador camina detrás de la máquina. Por lo tanto, los menores requerimientos de fuerza de las máquinas pequeñas probablemente reflejan la menor velocidad de operación más que otras variables.

De acuerdo con Siqueira y Casão (2004), las diferencias en requerimientos de fuerza son debidas en primer lugar al diseño de los abresurcos, al peso de la sembradora, al área de contacto de corte de los residuos y a los com-

ponentes de la abertura de los discos de corte. Las principales características que hacen que tales máquinas sean adecuadas para pequeños tractores o para tracción animal es su número limitado de surcos: dos y tres surcos para sembradoras de precisión de maíz y soja y seis a siete surcos para sembradoras de trigo y arroz.

Algunos de los factores que contribuyen al esfuerzo físico del operador para controlar la máquina son el peso de la sembradora de precisión, la altura de las manijas, su maniobrabilidad, estabilidad y habilidad para operar en tierras de ladera. La altura de las manijas es sumamente importante durante las maniobras y en muchos casos son ajustables. Los modelos para múltiples surcos generalmente requieren menos esfuerzo manual por parte del operador que los modelos de un solo surco porque, en el primer caso, la máquina tiene un asiento o una plataforma.

Los modelos con dos ruedas de apoyo traseras presentan buena estabilidad cuando se trabaja en tierras llanas pero pueden tener limitaciones en tierras de ladera. Los modelos con una sola rueda son más adaptados a terrenos pedregosos o con tocones ya que es más fácil bordear los obstáculos. Para aquellos modelos que han evolucionado a partir de los arados «*Fuçador*», la mejor estabilidad ocurre cuando se usan sistemas de barra fija en lugar de cadenas. El arado «*Fuçador*» tiene una barra de tiro de madera que está unida al yugo de los animales de tiro y en la cual está montada una pata y un cuerpo similar a una pala (Schimitz *et al.*, 1991). Para la labranza cero, el arado de reja es sustituido por los abresurcos adecuados. Este aparato es usado en las áreas pedregosas y de ladera del sur de Brasil.

Ajustes y mantenimiento

Todos los modelos tienen la posibilidad de ajustar la cantidad de semillas y fertilizantes pero algunos modelos no permiten ajustar su profundidad de colocación o el manejo de los residuos. Por otro lado, los abresurcos más

evolucionados no requieren ajustes para manejar una amplia variedad de tipos de residuos, pero en general raramente son usados en las pequeñas sembradoras o sembradoras de precisión. En general, los abresurcos de dientes tienen la menor capacidad de manejo de residuos (ver Capítulo 10) y los abresurcos de discos son los mejores. Sin embargo, algunos abresurcos de disco (por ej., de doble disco) tienen la tendencia a entretrejer la paja que se puede doblar dentro de la ranura donde esta interfiere con la germinación de las semillas, tanto en los suelos húmedos como en los suelos secos. Estas desventajas ocurren igualmente en las pequeñas sembradoras como en los equipos más grandes.

Por esta razón, varias sembradoras pequeñas de precisión con abresurcos de dientes presentan la posibilidad de hacer ajustes que afectan su capacidad de cortar los residuos. Los dos ajustes principales son el punto de enganche y la rueda frontal sobre la tierra. Los ajustes que se hacen al disco también controlan la profundidad de la ranura para el fertilizante. Para una misma profundidad del fertilizante, es posible tener diferentes profundidades de siembra de las semillas por medio de ajustes en la rueda posterior.

En los modelos más simples las densidades de siembra son ajustadas cambiando los diferentes platos de siembra mientras que los modelos de surcos múltiples a menudo vienen provistos de juegos de engranajes para cambiar la velocidad del plato. Otros modelos que no siembran surcos espaciados proveen un ajuste de la velocidad de la sembradora por medio de engranajes.

Sembradoras de precisión para tracción animal

La Lámina 103 muestra varias sembradoras para labranza cero producidas en Brasil. Los modelos en la parte superior de la Lámina son más desarrollados, tienen más posibilidades de

ajustes y es probable que produzcan mejores resultados que los modelos en la parte intermedia de la Lámina que han sido el resultado de la evolución del arado «*Fuçador*». Son más livianos, más económicos y más adaptables a las condiciones de suelos pedregosos y en laderas. El modelo en la parte inferior de la Lámina tiene abresurcos de disco y plataforma para el trabajo del operador.

Sembradoras de precisión adaptadas para cultivadores a motor

Los cultivadores a motor que se usan corrientemente para la labranza convencional algunas veces son usados para la labranza en fajas eliminando algunas de las hojas de corte, en bandas angostas (20 a 200 mm de ancho), dejando la tierra entre los surcos (hasta 500 mm de ancho) sin trabajar. En el Capítulo 4 se tratan los problemas de las versiones más grandes de esas máquinas que han sido adaptadas para seguir la superficie del suelo y la Lámina 15 muestra un ejemplo de la máquina trabajando en fajas angostas.

Sembradoras de precisión tiradas por tractor

Los pequeños agricultores también usan sembradoras de precisión a tracción animal o con pequeños tractores que requirerán hasta 50 HP. Las máquinas tienen los mismos abresurcos para corte de la paja (discos lisos) y formación de las ranuras (dientes o doble disco) como las máquinas para un solo surco y la mayoría pueden aplicar fertilizante en el momento de la siembra.

Algunos modelos tienen tolvas para semillas y/o fertilizante al igual que las máquinas más grandes (por ej., Láminas 104 y 105) mientras que otros modelos tienen sembradoras de precisión para surcos múltiples (Lámina 106).

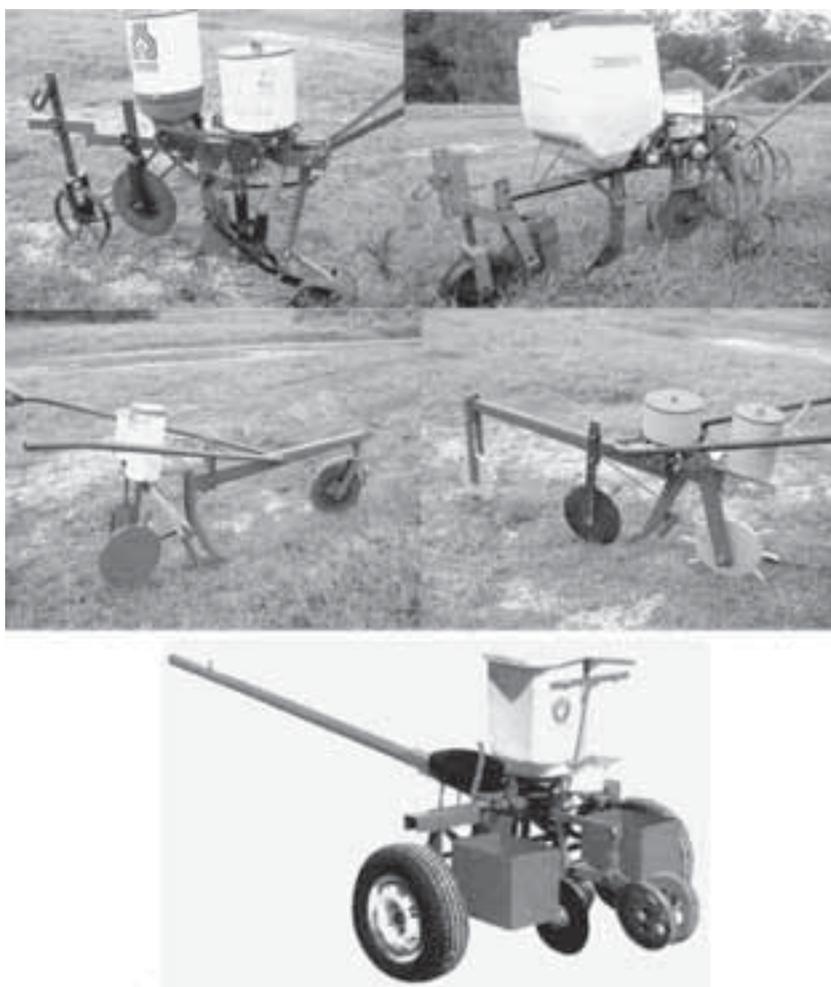


Lámina 103 Varias sembradoras de precisión para labranza cero en pequeña escala producidas en Brasil.

Agricultura con labranza cero en Asia

La labranza cero ha sido adoptada en cerca del 10-15 por ciento (dos millones de hectáreas sobre un total de 13,5 millones de hectáreas) del área sembrada con trigo después de arroz en el sistema de producción arroz-trigo en India y Pakistán. El trigo de primavera sembrado en la estación invernal y, cada vez más otros cultivos de invierno como las lentejas, se siembran bajo labranza cero. Sin embargo, las

ganancias en el mejoramiento de la calidad del suelo son contrarrestadas por el fangueo del cultivo del arroz en el verano. Además, la mayoría de la labranza cero ocurre en tierras donde se retiran los residuos del arroz para ser usados como forraje o combustibles ya que las actuales sembradoras de bajo costo para labranza cero no tienen capacidad para manejar los residuos; en muchos casos solo permanece en el suelo la parte inferior de las plantas de arroz. Esto lleva a un sistema híbrido



Lámina 104 Pequeña sembradora para labranza cero tirada por tractor.



Lámina 105 Dos pequeñas sembradoras de precisión con tolvas para la fertilización y la siembra de precisión.

donde los rendimientos no se podrán mantener debido a la degradación del suelo.

En experimentos a largo plazo llevados a cabo en México se ha demostrado que en sistemas intensivos maíz-trigo la labranza cero sin retención de residuos da lugar a una declinación más rápida de los rendimientos que cuando se utiliza un sistema de labranza que entierra los residuos. El mejor tratamien-

to ha sido la labranza cero con retención de residuos (Govaerts *et al.*, 2004). Esto indica la necesidad de una «retención racional de los residuos» en los trópicos húmedos y en los subtropicos con fuertes lluvias monzónicas y, en algunos casos, con tres cultivos anuales (K. Sayre, 2004, comunicación personal).

En la actualidad se están llevando a cabo investigaciones en algunas partes del sur de



Lámina 106 Pequeña sembradora de precisión adaptada de tracción animal a montaje sobre tractor.

Asia sobre arroz con siembra directa o con labranza cero (sitio *web* de RWC). Existen escasas, o ninguna, investigaciones anteriores sobre cómo plantar arroz bajo labranza cero en condiciones monzónicas. Los mayores problemas que enfrentan los investigadores y los agricultores son: i) las decisiones sobre la fecha de siembra están influenciadas por el comienzo errático de las lluvias pre-monzónicas y las lluvias monzónicas regulares y no existe o no puede existir un programa de riego que asegure mantener la maquinaria fuera de los campos cuando están muy húmedos; ii) los enormes problemas de manejo de las malezas que acarrea la pérdida de las condiciones del fangueo en los suelos arenosos que permiten una rápida infiltración y, por lo tanto, reduce la capacidad de controlar las malezas a causa del agua estancada, y iii) la falta de drenaje, especialmente en las tierras bajas, que puede sumergir y matar las plántulas recién emergidas. Los experimentos en curso incluyen la labranza cero del arroz transplantado, nuevos tipos de herbi-

cidas disponibles, variedades de arroz que pueden soportar la inundación y variedades de buen comportamiento en condiciones alternantes de inundación y falta de agua.

El Cuadro 29 resume los problemas especiales que enfrenta la producción de arroz bajo labranza cero.

Los resultados de las investigaciones sobre retención de residuos están adelantando pero las tecnologías occidentales actuales tales como los abresurcos de doble disco, son probablemente muy costosas, pesadas y requieren excesiva potencia. Están progresando los sistemas nativos o desarrollados localmente tales como los abresurcos de doble disco con T invertida y el inyector de la sembradora de precisión con la rueda estrella. Sin embargo, las investigaciones sugieren que sistemas más económicos de labranza en fajas podrían proporcionar la respuesta al manejo de los residuos a bajo costo, especialmente para los agricultores con mayores recursos. En el caso de los agricultores de menores recursos, los

Cuadro 29 Problemas y posibles soluciones para el arroz bajo labranza cero.

Problemas	Posibles soluciones
<p>1. La mayoría del arroz es cultivado en condiciones de secano. Los principales problemas son las lluvias monzónicas erráticas y, por lo tanto, el problema de entrar a los campos para las operaciones de siembra.</p>	<p>1. Las siembras deben ser hechas tan pronto como sea posible, cuando el suelo llega a la humedad adecuada. Cuando el suelo está demasiado húmedo ocurrirá una seria compactación.</p> <p>2. La maquinaria pequeña, más liviana (tractores de dos y cuatro ruedas) puede ayudar a solucionar el problema.</p> <p>3. Si la siembra directa es imposible, los agricultores pueden transplantar a mano o a máquina en los campos bajo labranza cero.</p> <p>4. Trasladar a la época seca temprana el arroz bajo riego.</p>
<p>2. La falta de drenaje y la inundación matan las plántulas emergentes después de una fuerte lluvia monzónica.</p>	<p>1. Camas permanentes de semilla y mejoramiento de la capacidad de drenaje.</p> <p>2. Siembra de variedades de arroz tolerantes a la inundación.</p> <p>3. Arroz transplantado bajo labranza cero.</p>
<p>3. Hay problemas de control de malezas cuando los suelos no se mantienen inundados (más importante en estaciones experimentales que en los campos de los agricultores).</p>	<p>1. La solución puede ser el manejo integrado de las malezas, uso de variedades competitivas y cobertura del suelo, prevenir la formación de semillas de las malezas, uso de rotaciones y varias estrategias de herbicidas. Otra estrategia son las camas de semillas sin labrar que permiten una primera germinación de las malezas que se controlan con herbicidas. En este sistema, al evitar la labranza también se evita un nuevo flujo de germinación de las malezas.</p> <p>2. Siembra de un cultivo de cobertura después del trigo y aplicar herbicidas al cultivo de cobertura y a las malezas antes de la labranza cero del arroz.</p>

residuos tienen un alto valor como combustible o forraje y probablemente continúen siéndolo durante las próximas décadas.

¿Tractores de dos o de cuatro ruedas?

Un problema importante es identificar formas de aplicación de las tecnologías de la agricultura de conservación a las zonas más pobres del sur de Asia. Si bien hay mayor disponibilidad de sembradoras para labranza cero, existe una cierta escasez de tracto-

res de cuatro ruedas. Como resultado de la falta de recursos muchas fincas son pequeñas o están dispersas. Las lluvias monzónicas intensas son un desafío para los investigadores, para quienes apoyan la agricultura de conservación y para los diseñadores de maquinaria. Es probable que la mayoría de los pequeños agricultores y de aquellos sin recursos no sean propietarios de su equipo sino que lo alquilen, cualquiera que sea el sistema prevalente.

En los últimos años se han hecho esfuerzos para introducir tractores de dos ruedas en las prácticas de la agricultura de conservación. Si bien su adopción es aún limitada, los ingenieros y los investigadores piensan que se están encontrando aperos que pueden ser útiles en este complejo sistema socioecológico.

Tractores de cuatro ruedas

India es el mayor productor del mundo de tractores de cuatro ruedas pero, aún hoy día, solamente el 50 por ciento de la labranza es mecanizada; tal vez cerca del 90 por ciento en las áreas de arroz-trigo, menos del 20 por ciento en Nepal y más del 70 por ciento en Bangladesh. La sorprendente diferencia entre Bangladesh y el resto del sur de Asia se analiza más adelante. Más aún, las leyes del gobierno de la India no permiten que los fabricantes de tractores fabriquen implementos como las sembradoras a fin de promover la fabricación artesanal local.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS Y HERRAMIENTAS. Muchas de las barras portaherramientas en India y Pakistán están basadas en las sembradoras para los cultivos de la época temprana del «rabi» (trigo de invierno, lentejas) que fueron desarrolladas en las décadas de 1970 y 1980. Los fabricantes de maquinaria para agricultura de conservación, en su mayor parte, han fortalecido simplemente los bastidores, las barras y los cinceles (Hobbs y Gupta, 2004). Las barras portaherramientas son planas (no son de sección romboidal) y generalmente están hechas de dos piezas de 50 mm de acero en ángulo soldadas para formar una barra de sección cuadrada. Dos o tres barras se colocan a distancias fijas y hay varios sistemas para adosar los cinceles a las barras. Los agricultores están aprendiendo que un cincel de largo ajustable proporciona una mayor adaptabilidad, pero tiene la tendencia a moverse hacia un lado u otro si no está debidamente asegurado o si es de baja calidad.

SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO. El interés que existe sobre la investigación y desarrollo de la agricultura de conservación en el sur de Asia ha llamado la atención del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México) el cual introdujo desde Nueva Zelanda a Pakistán, a principios de la década de 1980, sembradoras con abresurcos simples de T invertida para la siembra del trigo (Baker, 1976a, b, Lámina 107). Después de un cierto tiempo varios programas nacionales e internacionales en India y Pakistán redujeron el tamaño y el costo de las máquinas iniciales y las adaptaron a las condiciones locales. Específicamente, las populares sembradoras para trigo de invierno o «rabi» hechas localmente fueron reforzadas y se les agregaron abresurcos en T invertida hechos localmente (Hobbs y Gupta, 2004).

Las plataformas para las barras portaherramientas y las herramientas para la labranza cero son cada vez más simples y livianas (Lámina 108). Casi todos los talleres de herrería son capaces de producirlas. El principal defecto en los tractores de fabricación local es el control del sistema de tiro y el segundo es el levante hidráulico. Por lo tanto, muchos agricultores que adquieren máquinas para labranza cero encuentran que el enganche hidráulico de tres puntos frecuentemente necesita reparaciones; también muchas sembradoras para labranza cero encuentran problemas con las ruedas de control de profundidad. En Pakistán, a menudo se usan ruedas neumáticas, pero los modelos más económicos en India y Pakistán usan ruedas de metal.

SEMBRADORAS PARA LABRANZA EN FAJAS. Las sembradoras para siembra en fajas están menos difundidas que las sembradoras para labranza cero para tractores de cuatro ruedas o que las sembradoras comunes (Lámina 109). Estas sembradoras fueron desarrolladas por investigadores e ingenieros hindúes en la *Punjab Agricultural University*, Ludhiana, India, a fines de la década de 1980. Las máquinas típicas com-



Lámina 107 Abresurcos en T invertida montados en cindeles rígidos fijados a una barra portaherramientas de sección cuadrada. (Los detalles de los abresurcos típicos en T invertida se aprecian en la Figura 8 y en las Láminas 21 y 22).

prenden un rotavador simple de 2,2 m movido por la toma de fuerza del tractor con cuatro o seis láminas por faja, producidas en modelos de nueve a once surcos. Tales máquinas cuestan un 50 por ciento más que las sembradoras para labranza cero. El consumo de combustible es mayor que en las máquinas para labranza cero pero mucho menor que en las máquinas para labranza convencional. Los agricultores indican que la labranza en fajas es preferible en campos con residuos excesivamente altos para los cindeles de las máquinas en T invertida para labranza cero. Los rendimientos son comparables a aquellos de la labranza cero (Hobbs y Gupta, 2003). Los resultados de investigaciones hechas en Pakistán sobre discos rotativos, lisos o serrados, indicaron que el desgaste de los discos fue alto.

SEMBRADORAS DE PRECISIÓN (A GOLPE) CON RUEDA ESTRELLA. En un intento de solucionar el pro-

blema de la siembra sobre residuos densos, la rueda estrella o los sembradores de precisión a golpes rotativos—desarrollados originariamente en Zimbabwe— han sido agregados a los bastidores existentes para labranza cero (Lámina 110). Se han hecho modificaciones para mejorar la sincronización de la entrega de las semillas y para prevenir que las semillas caigan fuera del hoyo (sitio *web* del RWC). Tal vez el mayor problema que enfrenta este sistema en el sur de Asia es su costo relativamente alto.

SEMBRADORAS PARA MELGAS (SIEMBRA EN CABALLONES Y SURCOS). Los sistemas para siembra de trigo en melgas fueron desarrollados primeramente en México, con agricultores del valle Yaqui, para compensar un decreciente aporte de agua. El agua de riego se ahorra al aplicarla por medio de surcos entre las melgas, lo cual favorece su conservación y el drenaje. El trigo sembrado en melgas también



Lámina 108 Sembradora típica para labranza cero sobre un tractor hindú.



Lámina 109 Sembradora para labranza en fajas en India.



Lámina 110 Sembradora a golpe rotatoria para múltiples surcos.

permite el acceso al campo después de la siembra para hacer aplicaciones de pesticidas y el control mecánico de las malezas. Más del 90 por ciento de los agricultores del valle Yaqui han adoptado esa práctica (Aquino, 1998) pero deshacen las melgas después de la cosecha y las rehacen para la siguiente siembra.

El trabajo para sembrar en melgas en el sur de Asia comenzó a mediados de la década de 1990 y actualmente está aumentando su adopción (Hobbs y Gupta, 2004). El objetivo es, eventualmente, tener melgas permanentes, especialmente en los suelos arenosos secos, donde el abastecimiento de agua subterránea se está reduciendo o en los suelos arcillosos donde el trigo es susceptible al estancamiento del agua. Existen algunas variaciones para adaptarlo a problemas que generan las condiciones erráticas de los monzones y a las siembras directas de bajo rendimiento del arroz; por ejemplo, transplantar el arroz a mano en melgas usando abre-surcos en T invertida para abrir los surcos para el transplante. Podría haber buenas perspectivas para la siembra en melgas de rotaciones de arroz-hortalizas en la India o de rotaciones algodón-trigo en Pakistán.

Sin embargo, son necesarias más investigaciones para cultivar exitosamente arroz sem-

brado en melgas en seco, que incluyan la fecha de siembra, el manejo de las malezas, los tipos de suelo y las condiciones socioeconómicas en las que el cultivo en melgas pueda ser viable. Todavía existen una serie de problemas que necesitan una respuesta adecuada acerca del cambio de las condiciones fluctuantes de un sistema anaeróbico a un sistema aeróbico para el cultivo del arroz. También hay preguntas sobre la maquinaria apropiada que debe ser usada, dado que la complejidad de los sistemas generados por los monzones de Asia requieren más adaptaciones de los modelos creados en el ecosistema del Valle Yaqui en México (Hobbs y Gupta, 2004).

La mayoría de los modelos comerciales actuales de sembradoras de precisión para la siembra en melgas se derivan de las sembradoras para labranza cero que usan el mismo bastidor y dosificadores de semilla de tubo pero con el agregado de un surcador ancho de ajuste simple. Se han hecho numerosos trabajos sobre la agronomía del trigo y del arroz y dos surcos sembrados en melgas de 72,5 cm son la opción estándar en las rotaciones arroz-trigo; sin embargo, la mayoría de las sembradoras de precisión pueden ser ajustadas a sembrar tres surcos y varios espaciamientos en la melga. Algunos modelos son combinaciones de sembradoras de precisión para labranza cero en melgas con abresurcos adicionales en T invertida, surcadores y azadas. Sin embargo, estos modelos parecen ser inadecuados para melgas permanentes y mayores niveles de residuos, por lo que se ha comenzado a trabajar para agregar abresurcos de discos dobles y ruedas estrella en sembradoras de precisión.

«SEMBRADORA FELIZ»*. Esta sembradora (Lámina 111) fue diseñada para manejar grandes volúmenes de residuos y sembrar en melgas o

* N. del T.: «Happy seeder» en el original inglés.



Lámina 111 Ejemplo de «Happy seeder».

en tierras llanas. La sembradora es una combinación de dos máquinas: una cosechadora de forraje y una sembradora para labranza cero que usa abresurcos de ala en T invertida (sitio *web* de RWC). La cosechadora de forraje corta y levanta la paja y deja una superficie limpia para la sembradora para labranza cero. El material cortado es soplado directamente detrás de la sembradora y permanece como cobertura. Ensayos de campo en la India han confirmado la utilidad de este enfoque. Sin embargo, persisten problemas con la germinación y con una colocación saltada de las semillas que necesita además el ajuste del alto de corte así como de la labranza de las fajas delante de cada abresurcos en T invertida. Las adaptaciones hechas en Pakistán han llevado a la opción de una separación de la máquina en dos mitades.

Tractores de dos ruedas

La pobreza relativa da lugar a propiedades cada vez menores y más fragmentadas. Un pequeño agricultor para ser exitoso debería poseer cinco hectáreas, mientras que un agricultor de pocos recursos financieros podría poseer parcelas de menos de una hectárea, con un promedio de cinco parcelas fragmentadas.

El número de tractores de cuatro ruedas disminuye prácticamente hasta cero para los agricultores de menores recursos; al igual ocurre con otra maquinaria moderna. El área oriental de India y Bangladesh (Figura 41) comprende, probablemente, las tierras más fértiles de todo el sur de Asia; pero aun así, la pobreza y la alta densidad de población presentan a los investigadores de la agricultura de conservación una situación socioeconómica difícil y restrictiva.

Si la agricultura de conservación fuera introducida y adoptada por los agricultores de esta región, los equipos deberían ser adaptados a la fuerza de tracción animal o de tractores de dos ruedas. Estas fuentes de tracción también deben estar disponibles ya que actualmente hay vastas áreas en las cuales no se encuentran los equipos más simples. Los tractores de dos ruedas se han considerado apropiados y socialmente justos (Justice y Biggs, 2004a) dado que el costo de mantener un par de bueyes para la preparación de la tierra y el transporte es cada vez más oneroso. Muchos agricultores buscan alternativas para las opciones de tracción animal pero los investigadores aquí, y tal vez en otras zonas en desarrollo, enfrentan múltiples dificultades, a saber:

1. La naturaleza conservadora inherente de los agricultores, pero particularmente de aquellos de menores recursos, que no les permite enfrentar riesgos en su producción agrícola.
2. Una estructura por debajo de las normas, que incluye a los fabricantes locales y los sistemas de extensión, junto con un bajo nivel educativo, demoran el interés en cualquier tecnología o su adopción.
3. Todos los agricultores hacen inversiones en maquinaria de bajo costo y renuncian a la calidad por el alto precio.
4. Las limitadas investigaciones y desarrollo de los equipos para agricultura de conservación para tractores de dos ruedas, en comparación con los modelos de cuatro ruedas.



Figura 41 «Área de la pobreza» en el sur de Asia donde 500 millones de familias dependientes de la agricultura viven con menos de una hectárea de tierra.

5. El énfasis en los tractores de cuatro ruedas y la producción local han limitado la disponibilidad y competitividad de los modelos de dos ruedas.

LA FUNCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE TRANSICIÓN. A pesar de esas dificultades, las ventas de tractores de dos ruedas y el rotavador común se han incrementado en la última década, especialmente en Bangladesh donde se estima que hay más de 400.000 tractores de dos ruedas hechos en China, responsables de la preparación de más del 70 por ciento de la tierra de los agricultores bengalíes. Este importante incremento fue estimulado por cambios en la políti-

ca gubernamental y por el desarrollo de un fuerte mercado para tractores después del desastre causado por los ciclones en 1987 que redujeron considerablemente la población animal. Un cuadro similar está surgiendo en Nepal y en cierta medida en India. Ciertos proyectos específicos en Nepal han hecho que los agricultores sean más concientes de los beneficios de poseer esas fuentes de energía para generar ingresos u ofrecer servicios por contrato a quienes no poseen tractores (Justice y Biggs, 2004b). La disponibilidad de tales fuentes de energía permite ahora que los métodos aplicados por la agricultura de conservación estén disponibles para los agricultores de esas regiones.

Además de proporcionar energía para la agricultura de conservación esos tractores pueden cumplir una serie de actividades de campo tales como segar, bombear agua, sembrar y labrar. El tractor, o su motor, también es usado como una fuente de energía para las trilladoras, ventiladores de granos, molienda y transporte de personas y mercancías, tanto sobre la tierra (pueden tirar remolques de 2 t) y en el agua (miles de barcas en Bangladesh). También reducen el trabajo penoso del fangueo de los arrozales siempre que tengan ruedas especiales para ello. Todas estas funciones aceleran las operaciones de la finca (preparación de la tierra, siembra y cosecha oportunas), mejoran los rendimientos e intensifican la intensidad de cultivo y la eficiencia de la producción agrícola. Estos resultados son vitales para una región en la cual la densidad de población excede las 1 000 personas por kilómetro cuadrado de tierra arable.

Los costos de preparación de la tierra para los cultivos de invierno y para el fangueo del arroz con los tractores de dos ruedas son un tercio menos por unidad de tierra que los costos con los tractores de cuatro ruedas (Sah *et al.*, 2004). Con los tractores de dos ruedas también se reduce el tiempo requerido para dar vuelta y retroceder que requieren los tractores de cuatro ruedas, especialmente en las fincas pequeñas. El desafío ha sido extender esas ventajas a la agricultura de conservación. En primer lugar el concepto de barra portaherramientas ha sido usado en la labranza cero y las sembradoras de precisión para la siembra en melgas. En segundo lugar, una sembradora reducida para siembra más superficial ha sido modificada para la siembra en fajas y formar melgas en una sola operación.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS. Como ocurre con los tractores de cuatro ruedas, los diseños de barras portaherramientas para los tractores de dos ruedas se basan en modificaciones de los tipos familiares de sembradoras de barras planas «rabi». La placa de montaje de la barra

portaherramientas es abulonada detrás de la transmisión de los tractores de dos ruedas. Ese sistema rígido de montaje crea problemas en los terrenos no uniformes en comparación con el sistema de enganche de tres puntos que es más flexible. De cualquier manera, ha demostrado ser una plataforma sólida para los implementos de la agricultura de conservación. Por lo general, se usan dos barras para colocar herramientas e implementos.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS PARA SEMBRADORAS PARA LABRANZA CERO. La mayoría de los tractores de dos ruedas son capaces de arrastrar sembradoras de hasta cuatro surcos para labranza cero. Los diseñadores simplemente han adaptado los diseños de las sembradoras para labranza cero de los tractores de cuatro ruedas a un número más reducido de surcos, usan abre-surcos grandes en T invertida y los mismos cinceles, pero reducen a la mitad las tolvas para fertilizantes y semillas (Lámina 112). La capacidad real de dichas máquinas en el campo es 0,20 ha/h para la aplicación de fertilizantes y siembra simultánea de las semillas. El costo de siembra en el caso del trigo y el maíz se reduce en cerca del 50 por ciento, en comparación con los métodos convencionales de labranza.



Lámina 112 Barra portaherramientas de tipo plano para labranza cero que muestra la placa de montaje para un tractor de dos ruedas.

BARRAS PORTAHERRAMIENTAS PARA SEMBRADORAS DE PRECISIÓN EN MELGAS. Este tipo de sembradoras que simultáneamente labra el suelo y forma las melgas son relativamente poco consideradas, sin tener en cuenta si también siembran y fertilizan; tal práctica podría llevar a un programa completo de labranza cero en un sistema de melgas permanentes.

El ancho de las melgas está limitado por el problema del espaciamiento de las ruedas de los tractores de dos ruedas. La melga estándar para arroz-trigo es de 65-70 cm de ancho. Los problemas surgen la primera vez que se forman las melgas y si la tierra no ha sido preparada previamente: la pala se engancha en los terrones, lleva la máquina fuera de dirección y puede causar problemas de manejo si una de las ruedas pasa sobre un caballón e inclina el formador de la melga. Los terrones son un problema menor bajo las condiciones de las melgas permanentes, donde se hace un ligero trabajo de retoque y las ruedas del tractor corren en las huellas anteriores lo que reduce el trabajo del operador.

SEMBRADORA PARA LABRANZA REDUCIDA. Una sembradora para labranza reducida hecha en China fue introducida por el CIMMYT en 1989 en Nepal y en 1996 en Bangladesh. Ha sido la única tecnología de conservación disponible en China para tractores de dos ruedas y ha sido sometida a investigaciones por Pradhan *et al.* (1997), Meisner *et al.* (2003) y Sah *et al.* (2004); esas máquinas mostraron en forma consistente altos rendimientos, por las siguientes razones:

1. Fueron capaces de sembrar trigo, lentejas y otros cultivos de invierno en suelos muy húmedos (hasta un 30 por ciento de humedad) inmediatamente después de la cosecha del arroz, lo que evita así las siembras tardías.
2. Proporcionaron una preparación fina del suelo que favorece la germinación.
3. Colocaron las semillas a una profundidad uniforme.

4. Redujeron los problemas de malezas asociados con el cultivo anterior de arroz.

Si bien la máquina no puede ser considerada una verdadera sembradora para labranza cero en su modelo para labranza (Lámina 113), representa una excelente (y flexible) tecnología de transición de la labranza múltiple a la labranza cero o la labranza en fajas (Lámina 114). Los tres principales componentes de la sembradora son:

1. Un rotavador de 48 hojas, 120 cm de ancho, alta velocidad y labranza superficial (máximo 10 cm de profundidad).
2. Un dosificador de semillas de seis tubos para seis surcos (también hay para 11 y 17 tubos) y una tolva para semillas.
3. Un rodillo de 120 cm para alisar, compactar y controlar la profundidad.

LABRANZA EN FAJAS. Las investigaciones sobre la labranza en fajas son más recientes (Justice *et al.*, 2004) pero los resultados con las máquinas hechas en China han sido promisorios. La eficiencia en el campo mejora entre un 15 y un 20 por ciento con menor consumo de combustible y tiempo. El área de suelo disturbada puede ser ajustada entre 15 cm y apenas 2-3 cm (con hojas derechas). Para las fajas angostas se sueldan al eje apoyos adicionales para las hojas a fin de compensar la falta del modelo normal en espiral y reducir las vibraciones. Trabajos hechos en Bangladesh, México y Nepal han mostrado que las hojas del sistema de rotavador de alta velocidad (rotación a una velocidad mayor de 400 rpm) son capaces de cortar y sembrar en paja rala y presentan una solución económica para los problemas de la retención de residuos para los tractores de dos y cuatro ruedas. La Lámina 114 muestra una máquina automotriz de dos ruedas para labranza en fajas que crea un disturbio del 50 por ciento y siembra trigo en surcos a 100 mm.

MELGAS PERMANENTES PARA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. La flexibilidad de las sembra-



Lámina 113 Máquina de dos ruedas para labranza reducida en trabajo de ancho total.



Lámina 114 Máquina de dos ruedas para labranza reducida en trabajo de labranza en fajas.

doras diseñadas en China ha sido mejorada para hacer melgas y sembrar en melgas permanentes con muy pocas modificaciones. Cuando es necesario reconstruir las melgas, puede usarse el sistema de la barra portaherramientas con palas o solamente unas pocas hojas rotatorias en el surco para devolver el suelo a la melga sin disturbio.

LABRANZA EN FAJAS EN MELGAS PERMANENTES. Si las melgas no requieren ser reconstruidas, la misma máquina hace la labranza en fajas sobre las melgas existentes. En Bangladesh y México, el CIMMYT ha introducido modificaciones en las máquinas convencionales para siembra en fajas como sigue:

1. Dos ruedas para el control de profundidad están colocadas sobre los surcos en lugar del rodillo.
2. Los abresurcos se extienden en profundidad a 7 cm.
3. Las hojas estándar de tipo «C» están enderezadas para cortar los residuos y reducir la cantidad de movimiento del suelo.
4. Se agregan hojas adicionales para reducir la vibración (marcadas con un círculo en la Lámina 115).

La Lámina 115 muestra una máquina para labranza en fajas/sembradora modificada, usada en este caso para la siembra de frijol mungo

después de trigo en melgas permanentes. Las hojas enderezadas de tipo «C» pueden cortar los residuos dejándolos en la superficie de la melga con un disturbio o arrastrado mínimo del suelo, similar al que se encuentra con abre-surcos invertidos en forma de T.

Ha habido un extenso debate acerca de la altura más deseable de las melgas de este tipo. La mayoría de las sembradoras de precisión pueden hacer melgas de solo 10 a 12 cm de alto. Los primeros intentos hechos para crear melgas más altas indican ahora que consumen un exceso de energía y que son agrónomicamente indeseables, ya que se secan más rápidamente. Generalmente se acepta que las melgas deben ser tan altas como sea necesario para permitir que el agua de riego o de drenaje se mueva de un extremo del campo al otro. Dado que muchas parcelas son pequeñas (menos de 0,2 ha), las melgas bajas son satisfactorias.

Los sistemas de labranza en fajas basados en tractores de dos ruedas también incluyen máquinas comparativamente livianas que permiten la siembra en suelos más húmedos, en comparación con el trabajo de los tractores de cuatro ruedas y las correspondientes sembradoras de precisión para melgas. Esto es particularmente importante en los sistemas de agricultura de conservación en el sur de Asia con casos de melgas bajas y llanas.

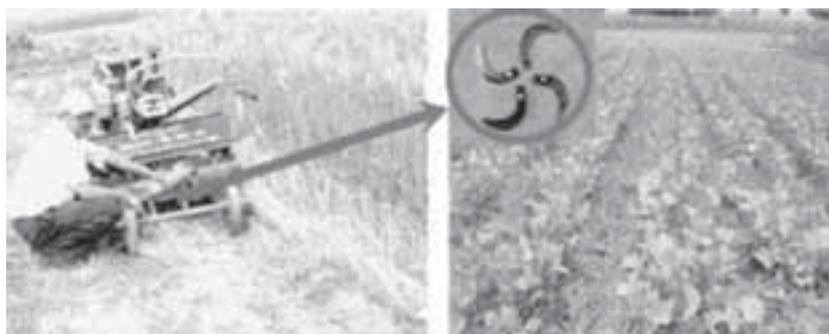


Lámina 115 Sembradora para labranza en fajas que opera sobre residuos densos en una melga permanente y siembra frijol mungo.

Como consideraciones negativas, la labranza en fajas con equipos de dos ruedas sobre melgas permanentes no permite el acceso al campo hasta que los cultivos se han establecido. Sería deseable facilitar la aplicación en bandas del fertilizante en cobertura, el cultivo entre surcos y asperjar como con los tractores de cuatro ruedas.

Los resultados de pruebas recientes hechas en Bangladesh con el establecimiento de cultivos de trigo (Rawson, 2004) encontraron que la labranza total y la labranza en fajas fueron inicialmente superiores a la siembra en melgas y a la labranza cero, pero también se notó que los resultados mejoraron una vez que los operadores aprendieron a sembrar con la humedad correcta del suelo, especialmente en el caso de la labranza cero. Como resultado, ahora se considera que la siembra en melgas y la labranza cero con tractores de dos ruedas pueden ser el futuro de la agricultura de conservación en la región.

Resumen de sembradoras y sembradoras de precisión para labranza cero – máquinas en pequeña escala

1. La mayoría de los agricultores en pequeña escala usan equipos manuales de siembra o sembradoras y sembradoras de precisión de uno o dos surcos, tiradas por animales o por pequeños tractores.
2. La agricultura de labranza cero en pequeña escala se beneficia de una mayor atención del operador a los detalles de la siembra y del control de las malezas.
3. Muchos modelos de sembradoras de precisión manuales o de tracción animal han evolucionado a partir de antiguos modelos.
4. Los modelos de abresurcos en pequeña escala tienen muchos de los mismos requisitos y diseños usados en los equipos para gran escala presentados en los capítulos anteriores.
5. Algunos modelos de abresurcos en pequeña escala están limitados por los requisitos de potencia, fuerza de penetración y simetría.
6. La colocación separada del fertilizante y las semillas es importante para favorecer un crecimiento precoz del cultivo y limitar el crecimiento de las malezas.
7. Los aparatos para dosificar las semillas y el fertilizante, muy comúnmente son adaptaciones de sistemas usados en las máquinas más grandes.
8. Los abresurcos de azada son más comunes en la agricultura en pequeña escala debido al aumento de la capacidad de penetración, comparados con los abresurcos de discos.
9. El manejo de los residuos es a menudo más fácil con las máquinas para pequeña escala dado que tienen menos abresurcos.
10. La labranza cero en Asia presenta problemas asociados con las rotaciones arroz-trigo y las lluvias monzónicas.
11. La extrema pobreza es un problema en muchas áreas de Asia ya que limita el desarrollo del equipo para labranza cero y los servicios de asistencia a los agricultores.
12. El uso generalizado de los abresurcos de ala en T invertida ha ofrecido oportunidades para la labranza cero en Asia.
13. La siembra en melgas y/o la labranza en fajas es considerada como un paso hacia la labranza cero total en Asia.
14. La sembradora «Happy seeder» que combina cosechadoras de forraje y sembradoras, permite que los residuos sean colocados sobre las semillas durante la labranza cero, que simula a algunas de las ventajas de las máquinas para labranza cero en gran escala.

15

Manejo de un sistema de siembra para labranza cero

W. (Bill) R. Ritchie y C. John Baker

El éxito final de un sistema de siembra de labranza cero no será mayor que el éxito del componente menos exitoso del sistema.

La mayor parte de este libro se refiere a los riesgos físicos, biológicos, químicos y económicos relacionados con los equipos. Sin embargo, ni siquiera el mejor equipo disponible será capaz de proporcionar óptimos resultados si otros insumos no son de un estándar de igual o similar calidad. Consecuentemente, se deben considerar seriamente los otros factores necesarios para poner en funciones un sistema de siembra bajo labranza cero que minimize todos los riesgos. Obviamente, no es posible ofrecer una «receta» contra los fracasos en la siembra en labranza cero bajo cualquier condición. Cada paquete exitoso debe ser preparado para satisfacer las necesidades y condiciones de una finca particular, de un campo y de un componente del campo.

Este capítulo señala brevemente los distintos factores que pueden tener influencia sobre el resultado de la siembra de cultivos o pasturas en labranza cero cuando se aplica un sistema de ese tipo. Un resumen más detallado sobre la forma en que tales factores interactúan y cómo determinan el éxito o el fracaso de un sistema de labranza cero se encuentran en *Successful No-Tillage in Crop and Pasture Establishment* (Ritchie *et al.*, 2000).

Selección y preparación del lugar

A menudo hay pocas oportunidades para elegir una parcela e incluirla en un programa de labranza cero. Sin embargo, en otros casos, los agricultores pueden estar en una posición de ser más selectivos acerca de los campos, especialmente si están al inicio del proceso de conversión de la agricultura de labranza a la labranza cero. En este caso, es importante revisar los criterios que deberían ser considerados.

Muchos de los agricultores que se convierten a la labranza cero lo hacen en áreas con una historia intensiva de labranza que ha conducido a una estructura pobre del suelo, a un bajo contenido de materia orgánica, a una actividad microbiana pobre, a un bajo número de lombrices de tierra y a una probablemente alta compactación del suelo. Tales condiciones no conducen a altos rendimientos de los cultivos en cualquier sistema en el que sean establecidos. Si bien es de esperar que la labranza cero con el correr del tiempo pueda reparar el daño, a corto plazo puede estar en desventaja. La labranza cero no puede ser una cura inmediata para esas condiciones, pero lo es, ciertamente, a largo plazo.

Si se maneja correctamente, la labranza cero puede conformar un método sostenible de producción agrícola y al mismo tiempo permitir

que continúe el proceso natural de formación del suelo. Estos procesos toman tiempo, años y tal vez décadas. Incluso, hasta el momento en que se obtiene un cierto grado de reparación, los rendimientos pueden ser reducidos, especialmente si el agricultor no aplica los insumos mejor conocidos del sistema. Pero en otros casos, cuando los agricultores han usado altos niveles de insumos, que incluyen la fertilización en bandas, hay numerosos ejemplos de que los rendimientos de los cultivos no sufren, incluso en el primer año. Y sobre todo, después se han incrementado en forma sostenida, a menudo a niveles nunca registrados en ese campo.

Los mejores resultados para la conversión a la labranza cero ocurren cuando el agricultor tiene desde el principio la opción de seleccionar campos con alto potencial de retorno. En una finca integrada con pasturas y cultivos puede ser más adecuado comenzar una rotación de cultivos en labranza cero en un campo que ha tenido pasturas o alfalfa durante algún tiempo y que tiene un suelo en mejores condiciones que los campos que han sido labrados durante varios años.

En las fincas que en el pasado han sido completamente labradas, deberían seleccionarse los campos que han sido menos afectados por los aspectos destructivos de la labranza. No es realista esperar una evaluación objetiva del potencial de un sistema como la labranza cero, excepto cuando se le ha ofrecido la oportunidad de mostrar su verdadero potencial.

Un drenaje efectivo del suelo tendrá cierta importancia sobre la condición del suelo. Mientras que la labranza cero, con el correr del tiempo, mejora la capacidad natural de drenaje, también puede ser necesario algún drenaje artificial. Los suelos bien drenados producirán los mejores resultados.

La importancia de que los abresurcos para labranza cero sean capaces de seguir de forma segura las ondulaciones del terreno ya ha sido señalada en el Capítulo 8. Sin embargo, cualesquiera que sean los méritos de la tecno-

logía en este aspecto, será más efectiva y permitirá una mayor velocidad de operación si el campo tiene una superficie uniforme. Cuando se labra un campo antes de convertirlo a labranza cero, es necesario un esfuerzo adicional para uniformizar la superficie, que es una buena inversión para la posterior agricultura de labranza cero.

Se debe señalar que, sin embargo, con el correr del tiempo, los restos dejados por las lombrices de tierra son capaces de llenar galerías a profundidades de 75 a 150 mm. Por supuesto, un incremento en el número de lombrices de tierra es más bien un resultado a medio término de la labranza cero y no a corto plazo.

La siembra con sembradoras o sembradoras de precisión también puede ser favorecida si los predios tienen formas regulares. La naturaleza más firme de los suelos sin labrar limita la capacidad de muchas máquinas para labranza cero para moverse en las esquinas. La planificación primaria previa a la subdivisión de las tierras puede contribuir a resolver este problema.

Competencia de las malezas

Ha habido considerables debates sobre la competencia de las malezas en relación con los abresurcos. Es importante recordar que la mayoría de las operaciones de la labranza convencional están dirigidas a controlar la competencia de las malezas con los cultivos. Por lo tanto, la importancia de las operaciones de aspersión en la labranza cero debe ser debidamente considerada. El buen manejo incluye la identificación de las distintas especies, seguida por una selección adecuada de los herbicidas más adecuados o de otras estrategias de control, tales como la cobertura. Una planificación adecuada es importante para asegurarse de que los efectos residuales de los herbicidas sean compatibles con los futuros cultivos, así como con la fauna del suelo como las lombrices de tierra; por ejemplo, algunos

herbicidas y pesticidas son tóxicos para las lombrices.

Una vez seleccionados los herbicidas, es necesario asegurar que el compuesto químico específico es aplicado a la dosis correcta de ingrediente activo con la dilución adecuada (por lo general en agua) y otro compuesto como surfactante. También son necesarias para la aspersión condiciones adecuadas del tiempo, durante la aplicación y por un cierto período posterior. El estado de vigor y crecimiento de la planta y el tamaño de las hojas pueden tener influencia sobre la actividad del herbicida. Con algunos herbicidas es necesario contar con un cierto período entre aspersión y siembra. En muchos casos es más importante asegurar que la aplicación del herbicida es optimizada con respecto a una cierta formulación y el estado de crecimiento de la maleza, salvo cuando hay actividad residual del herbicida en el suelo o peligro del efecto del «puente verde» (Capítulo 3).

Un principio que ha ocurrido repetidamente ha sido el cambio del grado de dificultad de controlar algunas especies de malezas después de varios años de labranza cero. Cada especie de maleza tiene un modelo óptimo de labranza, competencia con el cultivo y humedad para su establecimiento. Casi todos los estudios de labranza cero sobre las malezas a largo plazo han señalado este claro cambio de especies y de intensidad. Pero los mismos y otros estudios a largo plazo muestran una significativa reducción total de la incidencia de las malezas en los sistemas continuados de labranza cero que han usado estrategias adecuadas de control y rotación de cultivos.

Control de plagas y enfermedades

La mayoría de los principios de manejo que se aplican a las malezas también se aplican al control de las plagas y enfermedades. Una identificación cabal es necesaria para asegu-

rar un control adecuado y rentable. Más importante aún, es necesario reconocer que algunas plagas y enfermedades se comportan en forma diferente bajo las condiciones de labranza cero que en la labranza común. A menudo puede resultar engañoso asumir que las medidas apropiadas de control en los suelos labrados pueden ser aplicadas sin modificaciones en la labranza cero. Estos principios se aplican tanto al manejo antes y después de la siembra y de la siembra de precisión.

Las medidas de control químico también pueden ser complementadas con otras técnicas de manejo tales como la rotación de cultivos que constituye una herramienta esencial para el desarrollo de la sostenibilidad. Las rotaciones no solo son efectivas para controlar plagas y enfermedades sino que también pueden fortalecer el control de malezas al permitir el uso de una mayor gama de herbicidas y/o fortalecer la actividad de tratamientos particulares de herbicidas, que modifican la fertilidad del suelo y ayudando a mejorar los niveles de materia orgánica del suelo. Es necesario tomar precauciones porque la erradicación química de una especie indeseable puede ir en detrimento de otra especie, por ejemplo, las lombrices de tierra.

Manejo de la fertilidad del suelo

El desarrollo de tecnologías de siembra y de siembra de precisión para labranza cero con la colocación del fertilizante en bandas ofrece nuevas oportunidades para el manejo de los fertilizantes bajo las condiciones de labranza cero. Sin embargo, se aplican todos los principios antiguos existentes.

El elemento fundamental para un uso costo-efectivo del fertilizante es una evaluación cuidadosa de los niveles de fertilizante y de requerimientos de los cultivos. Los análisis de suelos y de tejidos de las plantas son herramientas útiles para este proceso, tanto como

la interpretación correcta de los resultados. Estos resultados deben proporcionar las bases para la selección de las opciones de fertilizantes más rentable, algunas de las cuales podrían ser influenciadas por limitaciones de las máquinas, mientras que otras podrían no serlo.

Sin duda es necesaria más investigación específica bajo las condiciones de labranza cero que determinen el régimen más adecuado de fertilización para cualquier combinación de cultivos, tipo de suelos y clima. Las respuestas de los fertilizantes en la labranza cero pueden ser diferentes de aquellas obtenidas bajo la labranza común en el mismo tipo de suelos. Por ello, los resultados de las experiencias de investigación y extensión en condiciones de labranza común pueden no ser necesariamente correctas cuando se aplican a los sistemas de labranza cero. Sin embargo, por lo general los requerimientos de las plantas no cambian. La siembra en labranza cero con fertilizantes en bandas ofrece una oportunidad para una mayor eficiencia de la aplicación pero las cantidades totales de nutrientes requeridas, con la excepción del nitrógeno, no se alteran mayormente.

Densidad de siembra y calidad de las semillas

Frecuentemente hay serias discusiones sobre la densidad de siembra óptima en la labranza cero. Algunos autores opinan que las densidades de siembra deberían ser incrementadas, presumiblemente para contrarrestar una esperada reducción en la germinación de las semillas y/o la emergencia de las plántulas. Esta práctica es conocida como «seguro» de la densidad de siembra. Sin embargo, el proceder de esta forma, incluso con abresurcos para labranza cero que tienen baja emergencia, puede ser contraproducente si se obtienen las condiciones ideales, ya que resultarían en poblaciones que exceden el óptimo.

Además, las altas densidades de siembra involucran en este caso un innecesario costo adicional de semillas.

Si se usa el equipo adecuado hay pocas o ninguna razón para que el establecimiento de las plántulas en la labranza cero sea menor que en la labranza convencional. De hecho, con los equipos modernos y un sistema apropiado, la labranza cero tiene el potencial para porcentajes de establecimiento más altos que la labranza convencional.

En cualquier caso, el problema importante no es considerar cuánta semilla se siembra, sino que la medida final es el establecimiento de las plántulas. Por lo tanto, las densidades de siembra deberían estar basadas en una evaluación del grado de riesgo según una situación dada que lleve a la predicción de una emergencia efectiva de plántulas (Ritchie *et al.*, 1994, 2000). El primer factor a incorporar es el potencial de germinación de las semillas, el cual está especificado en los datos de la certificación de las semillas. La densidad de siembra puede ser calculada usando la siguiente fórmula:

$$SR = \frac{TSW \times TPP}{EFE}$$

donde: SR = densidad de siembra (kilos por hectárea); TSW = peso de 1.000 semillas (gramos); TPP = objetivo de población de plantas (plantas/m²); EFE = emergencia de campo efectiva (porcentaje).

El principio importante es la rentabilidad para producir la densidad adecuada de plantas. Para confiar en la obtención del número de plantas deseado un agricultor debe usar semillas de buena calidad junto con un equipo de siembra que proporcione un establecimiento confiable de las plántulas en un amplio rango de condiciones.

Otro factor importante es la correcta calibración de la salida de fertilizante y semillas del tubo de la sembradora o la sembradora de precisión. Dado que las semillas de diferentes

variedades de la misma especie pueden variar sensiblemente en peso y tamaño de acuerdo al vigor del cultivo, las condiciones del tiempo e incluso de la ubicación geográfica en el momento de la cosecha, es importante calibrar el mecanismo de dosificación cuando se cambian las variedades. Durante las operaciones de siembra o de siembra de precisión se debería controlar la constancia de la calibración por medio del control de la semilla y el fertilizante usados para cubrir una determinada área. Algunos sembradores cambian la dosificación con el cambio de la temperatura ambiente; el aumento de la temperatura de la mañana a la tarde puede causar un sensible cambio en la densidad de siembra.

En Australia occidental, la experiencia de los agricultores con la versión de abresurcos de ala en la versión de discos para labranza cero mostró que las densidades de siembra para una población equivalente de colza podía ser reducida con buen resultado de 9 kg/ha bajo labranza convencional a 4-5 kg/ha bajo labranza cero si se usa una máquina de diseño avanzado (J: Stone, 1993, comunicación personal). El ahorro de semilla necesaria para todo el predio fue equivalente al costo adicional de la máquina. Antes de reducir la densidad de siembra, la experiencia de este agricultor que sembraba una densidad alta con la sembradora para labranza cero fue que el cultivo permaneció largo tiempo en estado vegetativo y produjo un bajo rendimiento de grano.

Capacidad de los operadores

La labranza cero es una técnica relativamente nueva para los agricultores habituados a la labranza convencional. Cuando los agricultores trabajan en el sistema de agricultura convencional tienen una larga historia disponible en todo el mundo, si bien tal experiencia no es personal. Sin embargo, solo existe una limitada experiencia básica en lo que respecta a la agricultura de conservación. Más aún, esta

limitada experiencia ya ha demostrado que las técnicas de los dos sistemas son diferentes y que deben aprenderse nuevos procedimientos de manejo.

El tipo de trabajo de la agricultura de conservación que se basa en «un solo pase» deja poco margen para posibles errores. Por otro lado, la gama de implementos y funciones involucradas es mucho menor. Por lo tanto, un conocimiento detallado de las máquinas principales –asperjadoras y sembradoras– puede ser alcanzado más fácilmente.

Dado que es muy probable que en la labranza cero las condiciones físicas del suelo varíen más de campo a campo o incluso dentro del mismo campo, el operador tiene una mayor necesidad de entender los principios involucrados en esas condiciones y ser capaz de ajustar la maquinaria de acuerdo a las mismas. Por supuesto, las sembradoras y las sembradoras de precisión para labranza cero varían ampliamente en su capacidad para reconocer las variaciones del suelo gracias al ajuste automático que pueden hacer, pero de cualquier manera requieren que el operador tenga una óptima capacitación.

Es probable que en el futuro se pueda contar con un incremento en el uso de equipos electrónicos de supervisión y control de las funciones de las sembradoras y las sembradoras de precisión para mejorar su comportamiento y reducir la dependencia del operador. También es probable que la operación de estas máquinas se convierta en una tarea especializada con un mayor énfasis en la capacitación de los operadores.

Manejo post-siembra

Una fase peculiar ha sido creada para la era moderna de la agricultura intensiva* que implica la importación de supervisar cuidadosa y

* N. del T.: En inglés «*knee-action farming*».

periódicamente el comportamiento de los cultivos durante todo el ciclo de crecimiento. En muchos casos, esta supervisión requiere que el inspector se arrodille para observar el cultivo, frecuentemente con ayuda de una lupa, en lugar de hacerlo parado.

Este principio no es exclusivo de los sistemas de labranza cero, pero es fundamental para obtener buenos resultados desde el momento que las normas para la labranza cero difieren de aquellas de la labranza convencional. La técnica de la labranza cero ha sufrido en el pasado la falta de análisis de las razones de los pobres resultados obtenidos. A menudo los agricultores y los investigadores han condenado el sistema de labranza cero en base a los malos resultados sin determinar las razones específicas de esos fracasos. Esto contrasta con la aceptación de un fracaso en la agricultura convencional a causa de dificultades climáticas o como hecho «de justicia divina» o simplemente mala suerte.

En algunos casos, parece haber habido una falta de comprensión de que los fracasos de la labranza debidos a fuertes vientos o a la erosión hídrica no son causados por una oportunidad desafortunada sino, en primer lugar, por una falla inherente del sistema de labranza que es incapaz de proteger el cultivo de esos riesgos. La labranza cero reduce algunos de esos riesgos, pero puede introducir otros riesgos de diferente naturaleza. Por ejemplo, el control de plagas es más importante en algunas situaciones de labranza cero ya que no hay destrucción física de su ambiente al faltar el proceso de labranza. Todo esto significa que el agricultor debe mantener una vigilancia estricta del desarrollo del cultivo para reaccionar rápidamente frente a los problemas de manejo que pudieran surgir. Es necesario que el agricultor tenga la capacidad de identificar los problemas específicos y cómo solucionarlos o, por lo menos, saber donde se puede obtener asistencia. Las observaciones regulares y cuidadosas son una herramienta importante para este tipo de agricultura.

Planificación – la herramienta más importante para el manejo

La labranza cero es un sistema potencialmente muy flexible. Ofrece a los agricultores la oportunidad de responder rápidamente a los cambios en las condiciones del suelo o climáticas o a los indicadores del mercado. Sin embargo, también es un sistema que recoge beneficios de la planificación a largo plazo y de las revisiones periódicas de esos planes. El éxito de un cultivo puede muy bien depender de la implementación de un plan establecido varios meses antes. Por ejemplo, la rotación de cultivos tiene influencia sobre el manejo de malezas, los niveles de fertilidad y la cantidad de residuos. La planificación proporciona oportunidades para obtener ventajas de esas oportunidades cambiantes y de los mercados.

El manejo de residuos en la labranza cero es un caso específico (Capítulo 10). Obviamente, las decisiones en el momento de la cosecha del cultivo anterior tendrán una influencia significativa en la fase siguiente de la rotación, la cual puede ocurrir varios meses más adelante. Estos eventos conectados se relacionan con el uso de agroquímicos, la selección de equipos, los programas de fertilización, la rotación de cultivos y la forma de cosecha, todo lo cual enfatiza la función de la planificación anticipada como una herramienta del manejo.

Otro ejemplo es la aplicación de cal para elevar el pH del suelo, algo que en la labranza cero debería ocurrir seis meses antes de la siembra ya que sin labranza la oportunidad de mezclar este fertilizante de baja solubilidad con el suelo es limitada.

La mayoría de los otros aspectos generales de un programa de producción agrícola aplican un mantenimiento regular y riguroso de mantenimiento de las sembradoras y de las sembradoras de precisión y de otros equipos y también están en contacto con los abastecedores y contratistas para asegurar que todos los componentes del programa están

disponibles en el momento oportuno. La conservación de registros correctos es una parte integral de cualquier programa efectivo de manejo.

El Cuadro 30 resume el momento de actuar en la toma de decisiones clave para el manejo del campo si se desea completar un programa exitoso de labranza cero. Este no contiene una receta sino que remarca solamente los temas importantes. Dado que muchos de los hechos ocurren antes de la siembra, la planificación previa es uno de los puntos más relevantes.

Comparación de costos

Ningún análisis de manejo de un sistema de labranza cero estará completo si no se examinan cuidadosamente los costos-beneficios de la elección de una sembradora o sembradora de precisión de diferente complejidad, capacidad de trabajo y costo. Los estudios económicos (Baker, 1993a, b, c, 1994, 1995) muestran que a medida que se incrementa el uso anual de una sembradora se llega a un punto donde hay poca diferencia entre la propiedad y los costos operativos de máquinas simples de bajo costo y equipos avanzados de alta tecnología de alto precio. El Cuadro 31 muestra una comparación de costos. Mientras los costos absolutos y los impuestos no son de aplicación general, es probable que los valores relativos entre las varias opciones sean de mayor validez universal.

Para un uso anual de 50-100 hectáreas, los equipos más avanzados son excesivamente costosos (\$EE UU 95-182/ha) comparados con máquinas simples de bajo costo (\$EE UU 45-69/ha). Sin embargo, a partir de 600 hectáreas por año las diferencias son mínimas, \$EE UU 18-26/ha y pueden aun favorecer a las máquinas grandes. Los datos del Cuadro 31 pueden ser considerados conservadores ya que no toman en consideración el mayor establecimiento de plántulas o rendimientos que es posible que se obtengan por el uso de equi-

pos más avanzados. Los costos, sin embargo, toman en consideración la mayor velocidad de operación y los menores costos de mantenimiento de las máquinas más avanzadas. Por ejemplo, Saxton y Baker (1990) encontraron que una máquina avanzada para labranza cero con abresurco de alas incrementó los rendimientos de trigo en un promedio del 13 por ciento. Los cálculos si se usa un mayor impuesto del 24 por ciento y/o tasas de interés más bajas del 11 por ciento darán lugar a que las máquinas más grandes sean más económicas cuando se hace un uso menor de 600 hectáreas anuales.

Resumen del manejo de un sistema de siembra bajo labranza cero

1. El riesgo de fracaso de un sistema de siembra de labranza cero puede ser reducido asegurando un alto nivel de insumos para todos los factores, no solo para el equipo de siembra.
2. Elegir sitios que puedan ofrecer un alto potencial de retorno del sistema de labranza cero.
3. Los agroquímicos por lo general reemplazan la labranza como forma de control de las malezas y deben ser seleccionados y aplicados cuidadosamente.
4. La rotación de cultivos puede ser una herramienta efectiva de manejo cuando se usa conjuntamente con agroquímicos para controlar las malezas, las plagas y las enfermedades.
5. Algunos equipos para labranza cero permiten una amplia gama de opciones para la aplicación de fertilizantes. Un correcto análisis del nivel de fertilidad del suelo y de los requerimientos de los cultivos harán un uso adecuado de esta ventaja.
6. El uso de cantidades excesivas de semillas de baja calidad para compensar un modelo impropio de la sembradora o de

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelandia.

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
Cualquier momento antes de la siembra	Asegurar que el drenaje es correcto	La labranza cero no puede rectificar suelos pobremente drenados
Cualquier momento antes de la siembra	Determinar cuánto riesgo está dispuesto a correr el agricultor	Los riesgos estarán influenciados por la elección del herbicida (la efectividad es función de las condiciones: condiciones pobres necesitan mejores formulaciones); los cebos para babosas (infestaciones serias y condiciones húmedas necesitan mejores formulaciones); los pesticidas (asegurar que el agricultor ha elegido el tratamiento correcto); la sembradora (condiciones difíciles y semillas pequeñas necesitan mejor tecnología); las semillas (las condiciones adversas ponen más presión sobre la calidad de las semillas)
Cualquier momento antes de la siembra	Control de plagas que no son específicas de la labranza cero	Algunas plagas pueden necesitar un tratamiento antes o en el momento de la siembra
En algún momento antes de la siembra	Subsolar para aliviar la compactación, si esta existiera. Es mejor cuando el suelo está seco	Considerar semillas tratadas con insecticidas Usar un subsolador que no rompa mucho la superficie a fin de evitar la labranza para uniformizar el terreno. En estos casos son preferibles subsoladores poco profundos
Cuando el ganado pesado se saca del campo	Eliminar las huellas de pezuñas de más de 75 mm de profundidad	La mayoría de los abresurcos uniformizan las huellas de pezuñas a medida que siembran (algunos mejor que otros). Con huellas más profundas usar un subsolador « <i>Ground Hog</i> », un subsolador poco profundo o una niveladora para eliminar solo la parte superior cuando el suelo está algo friable en la superficie
Seis meses antes de la siembra	Aplicar cal si el pH del suelo es bajo	La cal requiere más tiempo para actuar si no hay cultivos que la incorporen. No aplicar cal cerca del momento de la aspersión. La cal en las hojas de las plantas puede afectar el glifosato, es de lenta disolución y se lixivia en el suelo
Tres meses antes de la siembra	Tomar muestras de fertilidad del suelo	Se necesita tiempo para obtener los resultados, analizar las opciones de fertilizantes y tomar medidas. En labranza cero a largo plazo puede más adecuado tomar muestras a 75 mm de profundidad y no a 150 mm
Tres semanas antes de la siembra	Asperjar con glifosato + chlorpyrifos si hay <i>Holocantella paucispinosa</i> , áfidos o gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i>	Si los agricultores no desean usar las altas dosis de chlorpyrifos, el control del gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i> puede ser obtenido esperando tres semanas entre aspersión y siembra. Sin embargo, una dosis baja de chlorpyrifos puede ser necesaria para controlar <i>Holocantella paucispinosa</i> o áfidos
Por lo menos dos semanas antes de la siembra	Sacar el ganado del campo si está en pasturas que aún no han sido asperjadas	El glifosato, para ser más efectivo, debería ser asperjado sobre cultivos limpios y con hojas nuevas. Esto produce una espesa cobertura que ayuda a controlar las malezas y retener la

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (Continuación).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
		<p>humedad siempre que el abresurcos pueda manejar los residuos. Si fuera necesario, las pasturas pueden ser pastoreadas después de la aspersión, siempre que no se haya usado chlorpyrifos</p> <p>No pastorear inmediatamente después de la aspersión ya que se reduce el área foliar. Además, el estiércol fresco reduce el control de las malezas y afecta adversamente el trabajo de algunos abresurcos. El tiempo necesario para mejorar una pastura varía con las condiciones de crecimiento del momento</p>
Diez días antes de la siembra	Controlar la presencia de babosas	Distribuir pequeños trozos de madera sobre el campo y dejarlos 2-3 días. Una o dos babosas debajo de un trozo de madera de 300 mm de largo indican la necesidad de hacer un tratamiento
Una semana antes de la siembra	Precebado para babosas	Es necesario solamente en caso de fuertes infestaciones. Las infestaciones bajas o moderadas pueden ser controladas con cebos en el momento de la siembra. En las infestaciones fuertes aplicar la mitad del cebo una semana antes de la siembra y la otra mitad en la siembra o inmediatamente después. Algunas sembradoras pueden aplicar cebo contra las babosas a medida que siembran, ya sea al voleo en la superficie o dentro de las ranuras
Uno a diez días antes de la siembra	Asperjar glifosato (para controlar la competencia) junto con chlorpyrifos (para controlar plagas)	<p>Mezclar en el tanque chlorpyrifos con glifosato cuando sea necesario controlar plagas. Cuanto mayor es la distancia en el tiempo entre la aspersión y la siembra, más friable se vuelve el suelo ya que se descomponen las raíces. Sin embargo, el suelo se seca más lentamente después de la aspersión ya que las plantas están muertas. En el caso de lluvia después de la aspersión el suelo puede permanecer húmedo más tiempo.</p> <p>Cuando se cortan pasturas para ensilar, esperar 3-4 días después de la aspersión antes de cosechar</p>
Uno a tres días antes de la siembra	Observar el contenido de humedad del suelo	La mayoría de los abresurcos para labranza cero trabaja mejor cuando el suelo está ligeramente seco en la superficie. Es necesario tener paciencia y esperar unos pocos días para obtener mejores resultados

(continúa)

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (*Continuación*).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
En el momento de la siembra	Aplicar preferiblemente todo el fertilizante del cultivo con el abresurcos. Cultivos como el trigo de invierno y el maíz pueden necesitar fertilizante adicional después de la emergencia	Sólo aplicar fertilizante con el abresurcos si la sembradora es lo suficientemente avanzada para colocarlo en bandas y separado de la semilla (no mezclado con la semilla). Las respuestas de los rendimientos de los cultivos a la colocación del fertilizante pueden ser espectaculares y hay límites muy elásticos de cuál y cuánto fertilizante puede ser aplicado. Puede ser hecho solo con las sembradoras más avanzadas. Si estas máquinas no están disponibles, evitar la colocación del fertilizante debajo del abresurcos o seleccionar cuidadosamente fertilizantes que «no quemem» la semilla. En estos casos la opción principal es esparcir al voleo si bien algunos agricultores prefieren colocar primero el fertilizante solo y después sembrar a una menor profundidad en una segunda operación
En el momento de la siembra	Asegurar que toda la semilla sea sembrada a la profundidad requerida y correctamente cubierta	Algunas veces es más fácil decir que hacer esto, salvo cuando hay abresurcos avanzados para labranza cero. Cuando estos abresurcos no están disponibles se debe aceptar un cierto nivel de riesgo ya que la germinación y la emergencia serán altamente dependientes del tiempo favorable, de los campos nivelados y de un bajo nivel de residuos
En el momento de la siembra	Aplicar cebo contra las babosas	Es más importante con las siembras de primavera pero también puede ser importante en otoño. Las infestaciones bajas o moderadas de babosas pueden, por lo general, ser controladas aplicando cebos ya sea con la sembradora o tan pronto como ha terminado la siembra. Obtener información de los expertos sobre la efectividad de los distintos cebos
En las primeras tres semanas después de la siembra	Abrir ranuras y controlar el daño de las babosas	A menudo hay una oportunidad para aplicar cebo contra las babosas después de la siembra si no se hizo en la siembra y se han encontrado babosas comiendo en las ranuras
En las primeras tres semanas después de la siembra	Abrir ranuras y controlar plántulas retorcidas	Contrariamente a lo que generalmente se piensa las plántulas retorcidas no indican quemado por el fertilizante. Indican semillas de bajo vigor. Tomar muestra de las semillas para hacer pruebas de vigor (no confundir con germinación) en un laboratorio de análisis de semillas. En casi todos los casos las plántulas retorcidas son originadas por semillas de bajo vigor; comentarlo con el abastecedor de semillas

Cuadro 30 Ejemplo de las etapas del manejo de un programa de labranza cero en Nueva Zelanda. (Continuación).

Cuándo	Qué hacer	Implicancias
En las primeras tres semanas después de la siembra	Controlar el daño del curculiónido <i>Holocan-thella paucispinosa</i> , de los áfidos o del gorgojo argentino del tallo <i>Listronotus bonariensis</i>	Estas plagas deberían haber sido controladas mezclando glifosato y chlorpyrifos en el tanque. Si esto no se hizo, es necesario vigilar cuidadosamente porque estas son las principales plagas de la labranza cero y pueden arruinar todo un cultivo o pastura.
En las primeras tres semanas después de la siembra	Controlar otras plagas no controladas por chlorpyrifos	Las plagas más normales de los cultivos y las pasturas podrían también causar problemas en la labranza cero. Poner la misma atención que en un cultivo bajo labranza
Cuatro a seis semanas después de la siembra de la pastura	Controlar la resistencia al arrancado manual de las nuevas plantas de gramíneas	Cuando las nuevas plantas de gramíneas no se arrancan fácilmente con la mano podrían estar prontas para un pastoreo liviano. Usar animales livianos en gran número y en períodos cortos en lugar de pocos animales por períodos largos
Después de seis semanas	Tratar normalmente los cultivos o pasturas	Esto no significa descuidarlos sino que todos los problemas que surgen no serán peores que bajo labranza convencional. De hecho, las nuevas pasturas bajo labranza cero a causa de la firmeza del suelo pueden a menudo ser tratadas en la misma forma que las pasturas bien establecidas. Mejora la utilización de las crucíferas forrajeras porque una mayor proporción de las raíces a cosechar están sobre la tierra
En el momento de la cosecha	Desparramar uniformemente los residuos de los cultivos	No quemar los residuos de los cultivos excepto cuando el abresurcos que vaya a ser utilizado en la próxima siembra no los pueda manejar. La producción de fardos es aceptable pero retarda el incremento de la materia orgánica del suelo. Con algunos abresurcos será necesario cortar los residuos. Unos pueden manejar los residuos en cualquier forma, pero otros no pueden manejar ningún tipo de residuos. Los operadores deben saber qué abresurco será usado en el próximo cultivo bajo labranza cero antes de tomar decisiones sobre el manejo de residuos del cultivo actual
Después de uno a cinco años de labranza cero	Examinar el suelo y la cuenta bancaria	Probablemente, ambos hayan mejorado. La estructura, sanidad, porosidad, materia orgánica y actividad de las lombrices de tierra del suelo habrán mejorado sensiblemente. Siempre que el sistema se haya manejado correctamente y usado los niveles adecuados de insumos para el nivel de riesgo aceptado, el margen bruto debería incrementarse progresivamente

Cuadro 31 Costos comparativos de la propiedad y de operación (\$EE UU/ha) de sembradoras para labranza cero.

Área sembrada (ha/año)	Sembradoras simples de bajo costo	Sembradoras convencionales para labranza cero	Sembradoras avanzadas para trabajo pesado
50	69	107	182
100	45	62	95
20	32	39	53
40	26	29	30
600	24	26	23
800	23	23	20
1 000	23	21	18

Nota: Sembradoras simples de bajo costo = \$EE UU 15 000.

Sembradoras convencionales para labranza cero = \$EE UU 30 000.

Sembradoras avanzadas para trabajo pesado = \$EE UU 65 000.

Otras asunciones importantes: impuestos: 24%; inflación: 4%; tasa de interés: 11%; depreciación: 12,5%; período de análisis: cinco años; los costos de los tractores son adicionales.

la sembradora de precisión, puede ser costoso e ineficaz.

7. La labranza cero requiere que los nuevos operadores aprendan una nueva capacidad de manejo pero también ofrece la oportunidad para una mayor especialización de los operadores.
8. Un programa de labranza cero que no esté bien manejado puede fracasar a causa de problemas posteriores a la siembra y su seguimiento.
9. Una buena planificación de todos los aspectos del programa de labranza cero es una parte importante del manejo del riesgo.
10. Las sembradoras avanzadas para labranza cero comienzan a tener rendimiento económico cuando se usan cerca de 600 hectáreas anuales.
11. La labranza cero representa una economía respecto a la labranza convencional. Es necesario no desperdiciarla.

16

La agricultura con tráfico controlado – una práctica complementaria para la labranza cero

W. C. Tim Chamen

La eliminación de la compactación inducida por los vehículos en el área de cultivo libera los cultivos y los suelos de un estrés innecesario, fortalece su comportamiento y la sostenibilidad de la producción con un mínimo de insumos.

¿Qué es la agricultura con tráfico controlado?

La agricultura con tráfico controlado divide el área de cultivo y los caminos en zonas distintas y permanentemente separadas. Todos los implementos tienen una medida específica (o múltiplo de esta) y todas las huellas de las ruedas están confinadas a estas líneas particulares de tráfico controlado. No deberían ser confundidas con las guías que ayudan para el pasaje de las máquinas para la aplicación de agroquímicos pero que no ofrecen una separación permanente de las huellas y los cultivos. La Figura 42 muestra el sistema basado en la tecnología existente. Es probable que a largo plazo se desarrollen equipos más especializados que puedan flexibilizar y mejorar más aún la eficiencia del sistema.

¿Por qué adoptar un régimen de agricultura con tráfico controlado dentro de un sistema de labranza cero?

Los beneficios de un sistema de tráfico controlado

Los suelos no solo sostienen físicamente los cultivos sino que también son el medio en el cual las raíces crecen y extraen agua, nutrientes y aire para su crecimiento y desarrollo. El confinamiento o las restricciones a las raíces, casi invariablemente, conducirán a resultados negativos. La reducción de la compactación inducida por el paso de vehículos mejora y sostiene las buenas condiciones del suelo. Absorbe más agua de lluvia que queda disponible para las raíces, las cuales a su vez están mejor dotadas para explorar y extraer nutrientes. La mejor porosidad también asegura un intercambio gaseoso y un drenaje efectivos y ambos mejoran aún más el potencial para un rendimiento óptimo de los cultivos.

La labranza cero mejora muchas propiedades importantes del suelo, pero aun así muchos suelos son aún susceptibles a la compactación

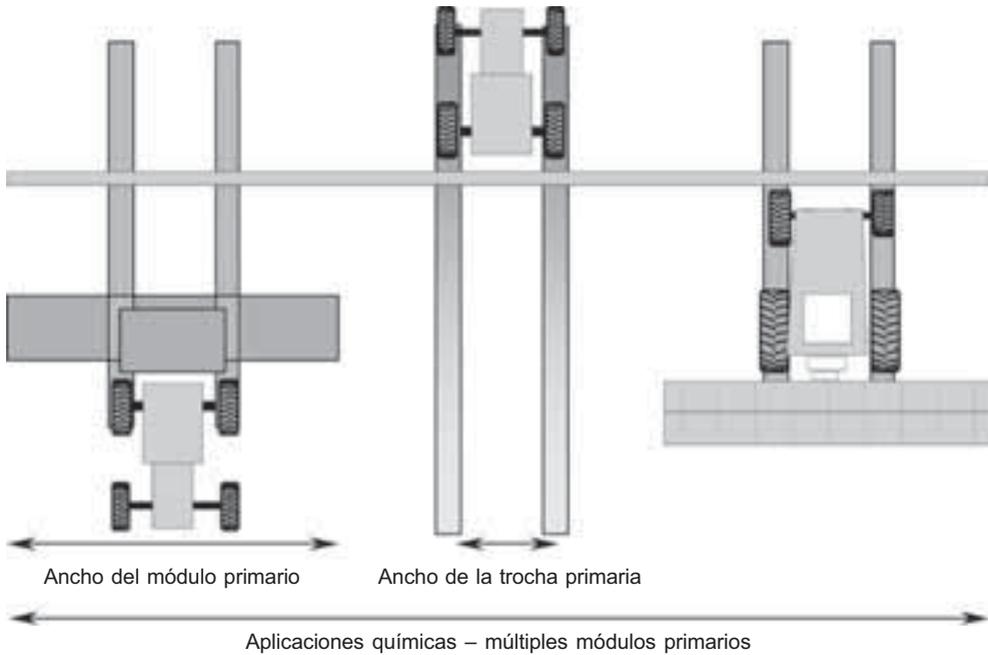


Figura 42 Sistema de labranza con tráfico controlado que muestra la siembra, la aspersión y la cosecha. En esta escala, todas las huellas pueden ser sembradas, excepto las usadas para las aplicaciones de productos químicos.

causada por las ruedas de los vehículos y las pezuñas de los animales, sin considerar cuánto tiempo han estado bajo el régimen de labranza cero.

También mejora el comportamiento de las máquinas al evitar los daños mecánicos inducidos por la compactación. Los diferentes grados de compactación de los suelos se diferencian en su fortaleza y respuesta a los insumos mecánicos. Por ejemplo, es difícil obtener óptimos resultados de los abresurcos de las sembradoras. Los abresurcos pueden trabajar bien en una condición o posición en una sembradora o, al contrario, pueden tener un comportamiento pobre en otras condiciones y posiciones. Una condición más homogénea del suelo en todo el campo proporciona una mayor precisión de las máquinas. Al evitarse la compactación del suelo disminuye la heterogeneidad o variabilidad de sus propiedades, tanto dentro de un solo tipo de suelo como

entre tipos de suelos, lo que hace que sean más fáciles de manejar y adecuados para un mayor número de cultivos bajo un régimen de labranza cero.

Efectos de la agricultura de tráfico controlado sobre las condiciones del suelo

Los sistemas agrícolas de labranza cero pueden causar diferentes niveles de disturbios en el suelo. En un principio, la labranza cero se concentró para evitar las operaciones de labranza en términos generales, pero en los últimos tiempos se ha puesto énfasis en la importancia de minimizar el disturbio creado por las herramientas de labranza cero, en especial los abresurcos. El escaso disturbio causado por la labranza cero ocurre desde el momento en que los abresurcos de las sembradoras y de

las sembradoras de precisión tienen como objetivo la interrupción mínima del suelo, suficiente solo para sembrar las semillas y colocar el fertilizante pero que dejan el suelo como si no hubiera sido trabajado en absoluto. Otras formas de labranza cero cuentan con cinceles más agresivos, abresurcos de dientes o tipo azada que dejan la superficie y a menudo las capas más profundas sin disturbar, similar a los efectos de la labranza mínima o la labranza reducida.

Definir un nivel escaso de disturbios en la labranza cero no es una tarea simple. Una regla general es que al menos el 70 por ciento de los residuos superficiales originales deberían permanecer sin disturbar sobre la tierra después del paso de la sembradora. Para los abresurcos que operan a una distancia entre surcos de 750 mm, un 30 por ciento de disturbio permite que queden 112 mm para ser disturbados a cada lado del surco mientras que con un espaciado de 150 mm, es aceptable que a cada lado del surco queden 22,5 mm.

En términos generales, cuanto mayor es la compactación que sufre el suelo tanto mayor será la necesidad de reparación. La labranza cero propone un remedio a esa situación al reducir la intensidad del tráfico, lo que evita el disturbio del suelo y permite que el suelo se reestructure. La eliminación del tráfico permitirá que esto ocurra en mayor medida y más rápidamente. El elemento más importante para la creación y mantenimiento de una mejor estructura del suelo es la minimización de los disturbios y, como se ha visto anteriormente, cuanto más agresivo es el abresurcos, mayor será el disturbio.

A diferencia de los suelos en que se circula desordenadamente, cuando los abresurcos deben crear una cama de semillas y sembrar, los suelos sin tráfico tienden a retener sus camas de semillas de una estación a otra de modo que solo se requiere colocar las semillas y el fertilizante. Desde todos los puntos de vista, cuanto menor es el disturbio creado durante la siembra dentro de un régimen de labranza

cero, mejores serán los resultados; el control del tráfico dentro del predio contribuye a esto. Cuando se han hecho comparaciones de tráfico sin ordenación y con control de tráfico, los datos de las investigaciones raramente incluyen detalles sobre los modelos de abresurcos; por ello las condiciones óptimas para los ensayos pueden no haber estado presentes, lo cual puede o no haber afectado los resultados.

Resistencia del suelo

La resistencia de los suelos está gobernada por varios factores, algunos de los cuales están interrelacionados y todos tienen impacto sobre la labranza cero. Los suelos compactados son más duros y tienen más resistencia a la penetración que los suelos no compactados, especialmente cuando disminuye el contenido de agua (Blackwell *et al.*, 1985; Campbell *et al.*, 1986; Gerik *et al.*, 1987; Chamen *et al.*, 1990, 1992; Dickson y Campbell, 1990; Carter *et al.*, 1991; Unger, 1996; Radford *et al.*, 2000; Yavuzcan, 2000; Abu-Hamdeh, 2003; Radford y Yule, 2003).

En un experimento de 10 años de duración, uno de los tratamientos consistió en someter un vertisol con el 25-32 por ciento de humedad a una carga de una rueda de cinco toneladas en el primer año y a una carga de tres toneladas anuales durante cinco años, después del tratamiento inicial (Radford y Yule, 2003); se usó labranza para el control de malezas en los primeros cinco años de una rotación de cultivos arables. Al final del período inicial de cinco años, se aplicaron a las mismas parcelas la labranza cero y el control del tráfico durante otros cinco años. La mayor resistencia persistió en el perfil de 0-100 mm durante tres años, mientras que en el tratamiento con cargas repetidas de cinco toneladas en los cinco primeros años (comparadas con tres toneladas después del primer año), persistieron los efectos de la resistencia a 100 mm durante casi cinco años después de la iniciación de la labranza cero.

Estos datos sugieren que los suelos con tráfico sin ordenar pueden tener niveles de variabilidad de la resistencia como resultado del pasaje indiscriminado del tráfico. Si bien esas diferencias pueden tender a disminuir con el tiempo en un régimen de labranza cero, el mejoramiento natural en la parte superior y en los centímetros más importantes del suelo tenderá a diferenciarse de acuerdo con el tipo de suelo, el diseño de los abresurcos y el nuevo tráfico. Además, habrá un incremento general de la resistencia del suelo originada en los reiterados pasajes de las ruedas. En algunos suelos esto no puede ser completamente contrarrestado por mejoramientos estructurales debidos a la falta de disturbio o por una mayor concentración de materia orgánica en las capas superficiales.

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA DEL SUELO SOBRE LOS NUTRIENTES Y EL CRECIMIENTO DE LAS PLÁNTULAS. La mayor resistencia del suelo reduce la capacidad del cultivo para extraer nutrientes; como resultado, el sistema del suelo perderá algunos de ellos. En cualquier suelo particular, la variación de la resistencia es dominada por cambios en el contenido de agua pero la resistencia con un contenido específico de agua es determinada por su estado de compactación. La denitrificación causada por la compactación es una fuente de pérdida de nitrógeno y un enraizamiento restringido puede causar una pobre absorción del fósforo (Wolkowski, 1990, 1991). La absorción del potasio es afectada, en primer lugar, por la aireación: su absorción es afectada por debajo de un nivel de concentración de oxígeno cercano al 10 por ciento.

La denitrificación puede conducir a una pérdida de fertilizante en el sistema de labranza cero y en condiciones húmedas (Torbert y Reeves, 1995). Cuando el suelo está seco la absorción de nitrógeno puede ser afectada por la compactación, al limitarse el crecimiento de las raíces. Este efecto ha sido la causa de la pérdida de nitrógeno, especialmente en con-

diciones de labranza cero, después de una fertilización nitrogenada y fuertes lluvias (Ball *et al.*, 1999). La denitrificación y la producción de metano han sido identificadas como unas de las principales limitaciones al mejoramiento del comportamiento ambiental de la labranza cero comparada con la labranza limitada (King *et al.*, 2004). King *et al.* lo atribuyeron a un incremento de la densidad de la parte superior del suelo y a una pobre aireación.

La resistencia del suelo directamente encima de las plántulas emergentes también puede ser un problema. Addae *et al.* (1991) sugirieron la siguiente relación:

$$Y = 90,4 - 3,58X$$

donde:

Y = emergencia de las plántulas
(en porcentaje)

X = resistencia del suelo, kPa

La fuerza máxima que un coleoptile de trigo puede ejercer es de cerca de 30 g y solamente cuando la resistencia es menor de 25 g es posible esperar una emergencia del 100 por ciento (Bouaziz *et al.*, 1990). La compactación del suelo por encima de una plántula emergente reduce, por lo tanto, la emergencia, especialmente cuando el suelo está húmedo. La variación en el momento de la emergencia a menudo está asociada con las variaciones de la resistencia del suelo (Brown, 1997).

EFFECTOS DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO SOBRE SU RESISTENCIA. Un mayor resistencia del suelo puede ser atribuida a cambios en su estructura. Es un hecho que se observa fácilmente que los suelos arcillosos que no se contraen presentan plasticidad cuando están húmedos y forman terrones cuando se secan; raramente muestran la friabilidad y las características de flujo de los materiales granulados no compactados. Como consecuencia, los suelos con

tráfico sin ordenar, no solo presentan grandes variaciones en su resistencia a la penetración sino que también reaccionan en forma diferente cuando son disturbados. En algunas áreas pueden presentar un flujo suave mientras que en otras se pueden embarrar o fracturar en agregados, por lo general grandes, pero de tamaño variable. Esta situación no es favorable cuando se diseña un abresurco para trabajar en forma continuada en un determinado tipo de suelo. Esto es aún más difícil cuando el tipo de suelo cambia a través del campo. Para superar el problema de la profundidad variable de penetración, se han diseñado recientemente sistemas electromecánicos de control para abresurcos para labranza cero para enfrentar los cambios de resistencia del suelo y para que sea una solución duradera para superar el problema (Capítulo 13).

Uno de los resultados de la labranza para solucionar la compactación, en el intento de crear una estructura de una cama de semillas uniforme pero artificial, es la interrupción de los procesos naturales de formación de la estructura del suelo. Esto ocurre a pesar del hecho de que los procesos puramente mecánicos empleados causarán inmediatamente que el suelo sea más susceptible a los efectos negativos del tráfico desordenado y a otras influencias de la compactación. Por lo tanto, si la labranza temporal hace que la operación de las sembradoras sea relativamente simple, compromete el suelo en una espiral negativa de compactación y degradación estructural que nunca ha constituido una solución a largo plazo.

Cockcroft y Olsson (2000) sugirieron que la labranza cero y la ausencia de tráfico no podían evitar el problema del endurecimiento de algunos tipos de suelos. Si bien los bioporos contribuyen a la infiltración del agua y el aumento de la materia orgánica mejora la situación, el drenaje y el crecimiento de las raíces pueden aún ser amenazados. Aún debe encontrarse una solución sostenible para estos tipos de suelos.

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA DEL SUELO SOBRE LA FUERZA DE TIRO Y EL DESGASTE DE LOS IMPLEMENTOS. Si bien la labranza cero tiende a minimizar el disturbio del suelo, la fuerza necesaria para desplazar el suelo durante la siembra es directamente proporcional a su resistencia. Chamen *et al.* (1990) informaron de una reducción del 25 por ciento del requerimiento de energía para un suelo sin tráfico en labranza cero comparado con un suelo con tráfico, a pesar de tener una profundidad de operación ligeramente superior (56 mm en el suelo sin tráfico comparado con 50 mm en el suelo con tráfico). Estos resultados son similares a las reducciones de energía obtenidas en labranza con rastra de dientes en suelos con tráfico y sin tráfico (Lamers *et al.*, 1986).

Un consecuencia adicional de una menor resistencia del suelo es la reducción proporcional del desgaste de los componentes de los equipos que están en contacto con el suelo. Un menor desgaste ahorra repuestos, trabajo y tiempo perdido en las reparaciones.

Mientras que en los suelos labrados y en algunos suelos sin labrar a menudo se encuentra que los abresurcos que trabajan detrás de las ruedas deben ser reemplazados más frecuentemente que en otros modelos, en otras situaciones puede ocurrir lo contrario. En Nueva Zelanda, cuando se trabaja con abresurcos para labranza cero en pasturas de larga duración y con una alta capacidad de carga animal, los disturbios de la superficie que surgen del patinaje de las ruedas de los tractores, a menudo aflojan el terreno y no compactan el suelo ni desgastan los abresurcos en los lugares de las marcas de las ruedas.

Estructura del suelo

El hecho de evitar la compactación del suelo inducida por los vehículos puede tener un impacto importante en los aspectos de la estructura relacionados con el movimiento del agua y los gases dentro y fuera del suelo. Numerosas investigaciones se han concentrado en estos problemas. McQueen y Shepherd

(2002) concluyeron que algunos suelos que se incorporaron a la producción de cultivos después de haber estado bajo pasturas permanentes podían ser deformados a causa del tráfico. La compactación, incluso en los suelos bajo labranza cero, redujo la infiltración del agua (Ankeny *et al.*, 1990; Meek *et al.*, 1990; Li *et al.*, 2001), la porosidad del suelo, la conductividad del suelo saturado (Waggoner y Denton, 1989), el llenado de los poros con aire y la permeabilidad (Blackwell *et al.*, 1985; Campbell *et al.*, 1986).

Por otro lado, los abresurcos para labranza cero y disturbio mínimo que se usan en suelos sedimentarios de Nueva Zelanda han dejado la mayoría de los índices de calidad del suelo (que incluye la estructura del suelo) en un estado similar a la pastura permanente original. Incluso después de 20 años de dos cultivos anuales con labranza cero y tráfico intenso y sin ordenar, no hubo un efecto obvio sobre tales suelos, comparados con sus equivalentes bajo pastura (Anónimo, 2000; Ross *et al.*, 2000, 2002a, b; Ross, 2001, 2002).

La capacidad del aire y la disponibilidad de agua son afectadas en primer lugar por la densidad del suelo, el carbono orgánico y el contenido de arcilla siendo este último es relativamente más importante en el subsuelo. La variabilidad en la capacidad de aire y en la disponibilidad de agua son altamente dependientes de la densidad y de la textura del suelo. En un suelo arcilloso limoso, el agua disponible se redujo a la mitad con un incremento de la densidad de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a $1,75 \text{ g/cm}^3$ (Hall *et al.*, 1997).

La reducción de la infiltración debida a la compactación del tráfico puede aumentar la escorrentía y la erosión. Wang *et al.* (2003) encontraron una duplicación de la escorrentía en parcelas con tráfico comparadas con parcelas sin tráfico bajo labranza cero y aproximadamente un incremento triplicado de pérdida de suelo.

Los mejoramientos ambientales asociados con los suelos no compactados también se rela-

cionan con las pérdidas gaseosas hacia la atmósfera. Una reducción de los poros llenos con aire debida a la compactación conduce a la denitrificación en los suelos arcillosos. Del mismo modo, la labranza cero y el tráfico controlado parecen preservar las tasas de oxidación del CH_4 (Ball *et al.*, 1999).

También hay evidencia de una mayor disponibilidad de agua para los cultivos en algunas áreas de suelos arcillosos, sin tráfico, a pesar de que se haya realizado una labranza poco profunda (100 mm). Los cambios en el potencial mátrico a 150 mm de profundidad en un período de 48 horas mostró grandes fluctuaciones en un suelo con tráfico comparado con pequeños cambios en un suelo sin tráfico. Esto último refuerza la importancia de promover la estructura natural del suelo por medio de la labranza cero y del tráfico controlado (Chamen y Longstaff, 1995).

Campbell *et al.* (1986), trabajando en un suelo arenoso arcilloso, encontraron que en ausencia de tráfico el suelo podría ser reclasificado de inadecuado a completamente adecuado para labranza cero.

Las implicaciones del tráfico controlado para las operaciones de labranza cero

RESIDUOS Y MANEJO DE RESIDUOS. Los residuos son un elemento fundamental en los sistemas de labranza cero porque no son incorporados en el suelo antes de la siembra del cultivo siguiente; sin duda, muchos de los beneficios de la labranza cero proceden de este hecho. Es preferible dejar los residuos *in situ* sobre la superficie del suelo para que se descompongan lentamente a fin de que los mismos y los productos de su descomposición sean incorporados gradualmente por la fauna, especialmente por las lombrices de tierra. Esto también es ventajoso en lo que respecta al nitrógeno que a menudo es bloqueado temporalmente por la descomposición rápida de la materia orgánica. El manejo de los residuos antes y durante la siembra es, por lo tanto,

particularmente importante si el cultivo debe ser sembrado sin interferencias o efectos adversos subsiguientes sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas.

La precisión adicional que agrega el tráfico controlado debería permitir que los residuos de los cultivos, si fuera necesario, sean manipulados y colocados con mayor cuidado. Por ejemplo, la tendencia a usar equipos más anchos ya está generando el diseño de métodos más seguros de colocación de los residuos por las cosechadoras. Al trabajar en rutas permanentes creadas como parte de la planificación del campo y donde las futuras líneas de siembra están predeterminadas, los residuos podrían ser colocados específicamente de modo que se evitan los surcos de los nuevos cultivos.

Con los sistemas de tráfico sin ordenar, los residuos de los cultivos son aplastados en forma arbitraria, lo que da lugar a una orientación variable para el futuro trabajo de los abresurcos. Algunos abresurcos no trabajan bien en estas condiciones mientras que otros no solo son eficientes sino que utilizan los residuos desordenados para controlar el microambiente de las semillas. El tráfico controlado evita el pisoteo desordenado de los residuos por parte del ganado y está asociado con su variabilidad. Es posible, por ejemplo, desarrollar sistemas donde se arrancan los granos de las espigas de cereales que han quedado en pie después del paso de la cosechadora. Métodos manuales y mecánicos podrían permitir la siembra entre los surcos de la paja de cereales en pie y en el suelo que puede tener una cobertura de la parte liviana de la paja (Lámina 116).

En los suelos sin tráfico habrá efectos adicionales sobre los residuos causados por una mayor actividad de las lombrices de tierra. Radford *et al.* (2001) registraron un incremento en el número de las lombrices de tierra de 2 a 41/m² cuando en un vertisol se evitó todo tipo de compactación. Pangnakorn *et al.* (2003) encontraron una diferencia favorable del 26 por ciento en el número de lombrices de tierra en un suelo sin labrar comparadas



Lámina 116 Condiciones del suelo y de los residuos después de arrancar las espigas. Los sistemas GPS y otros métodos precisos de guía permiten que la siembra ocurra entre los surcos en un régimen de tráfico controlado.

con suelos cultivados; además hubo un 14 por ciento adicional de incremento cuando el tráfico fue eliminado.

La compactación limita el abastecimiento de oxígeno, la absorción de nutrientes y el movimiento físico. Si bien el efecto de la mayor actividad de las lombrices de tierra es improbable que tenga un efecto directo sobre las operaciones de siembra en lo que se refiere a los residuos, la situación opuesta a menudo es verdadera. Los residuos favorecen a las lombrices de tierra y a la vez pueden mejorar la emergencia de las plántulas, especialmente en los suelos húmedos, en primer lugar gracias a un mejoramiento de la porosidad (Chaudry y Baker, 1988; Giles, 1994).

Considerando que hay un incremento de los niveles de CO₂ en la atmósfera y que es probable que este escenario continúe, también es probable que los residuos de los cultivos y las malezas y los rendimientos de los cultivos aumenten (Prior *et al.*, 2003). Por lo tanto, el mejor manejo de los residuos será cada vez de mayor importancia, no solo para manejar la gran cantidad de los mismos sino también para evitar un bloqueo temporal de los nutrientes y una excesiva acidez a largo plazo en las capas superficiales del suelo. Este tema aún debe ser estudiado más adecuadamente.

CONTROL DE MALEZAS. Los sistemas tradicionales de cultivo utilizan una combinación de métodos de labranza, culturales y con agroquímicos para llevar a cabo el control de malezas. Las malezas siempre son un problema serio para la sostenibilidad de la agricultura y evolucionan continuamente para escapar a cualquier método de control. El ejemplo más reciente de esta resistencia ocurre en el caso del *Lolium rigidum* resistente al glifosato (Wakelin *et al.*, 2004). Por lo tanto, es posible sostener que reducir las opciones de control de malezas es una operación arriesgada. Sin embargo, también hay aspectos positivos, algunos de los cuales son ayudados por el tráfico controlado, el más importante de los cuales es minimizar el disturbio del suelo.

Hay varios enfoques que mejoran el control de malezas sin labranza. Uno de los pocos objetivos defendibles de la labranza es estimular la germinación de las semillas de las malezas de modo que las plántulas emergentes puedan ser combatidas en una operación subsiguiente de control. En ausencia de dicho estímulo, la práctica más difundida de control de malezas es aplicar herbicidas en toda la superficie, ya sea con herbicidas selectivos o no selectivos. El control del tráfico hace que esta operación sea más eficiente porque es probable que germine una mayor proporción de las semillas de malezas durante el período entre los cultivos. Las semillas que quedan

sobre una superficie friable del suelo es probable que germinen al estar en íntimo contacto con el suelo o al enterrarse por sus propios medios (por ej., *Avena fatua*) o por fuerzas externas tales como la lluvia, las heladas, el viento o la actividad de la fauna del suelo. Después de la aplicación de herbicidas, el objetivo es evitar cualquier germinación posterior de las semillas y para ello es fundamental la minimización del disturbio del suelo por los abresurcos para labranza cero.

Este enfoque ha sido efectivo en Nueva Zelanda. Algunas malezas de difícil control como el rábano han forzado a numerosos agricultores a suspender el cultivo de otras crucíferas en razón de la dificultad de controlar sus plantas espontáneas cuyas semillas pueden sobrevivir latentes más de 40 años en un suelo sin disturbar. Incluso los mejores abresurcos para labranza cero a menudo disturban el suelo suficiente dentro de los surcos como para crear condiciones favorables para las malezas donde estas no existían antes de la siembra. Sin embargo, el uso de la versión de discos de los abresurcos de ala para labranza cero o los abresurcos de doble disco minimizan el disturbio de la superficie y evitan el problema.

Después de la siembra puede ser posible utilizar la precisión de la zona de tráfico controlado para controlar las malezas que germinan en la zona de los entresurcos en función de su propia actividad (como se ha señalado líneas arriba) o facilitadas por la labranza superficial con implementos livianos entre los surcos. La aplicación de llamas, vapor, corte y herbicidas no selectivos puede realizarse cuando hay suficiente espacio entre los surcos. Los métodos de guía visual actualmente disponibles permiten hacer esta operación en forma rápida y confiable.

Es probable que la eficiencia de las barras aspersoras sea mejorada con la aplicación de los sistemas de tráfico controlado. La mayoría de estos sistemas usan mayores anchos de trocha y se puede anticipar que en el futuro el

apoyo para las barras aspersoras podrá ser aún mayor, incluso más alejado del centro de la barra. La mayor estabilidad reduce el balanceo y permite que la barra sea colocada más cerca del cultivo o la tierra sin temer el contacto con la misma. Los sistemas de guía automática generalmente asociados a los sistemas de tráfico controlado también reducen las desviaciones de la barra, una característica asociada a la corrección manual de la dirección. La reducción del balanceo y de las desviaciones mejoran la seguridad de la aplicación y disminuyen el riesgo de deriva del herbicida.

DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE LOS ABRESURCOS. Las principales implicaciones del tráfico controlado para el diseño de abresurcos para labranza cero comprenden la reducción general de la resistencia del suelo en ausencia de la compactación inducida por el paso de vehículos. Esto reduce las fuerzas de penetración y de arrastre requeridas entre áreas transitadas y no transitadas. Chamen *et al.* (1990) encontraron que un abresurco de triple disco comprimido por un rodillo acolchado en un suelo sin tráfico en labranza cero penetró en forma excesivamente profunda. Una solución fue usar el abresurcos tradicional de un solo disco diseñado para los suelos cultivados. Esto significa que la siembra en labranza cero en suelos sin tráfico puede ser hecha con equipos significativamente más livianos y menos robustos.

Los suelos sin tráfico tienden a presentar una cama de semillas más friable sin consideración del régimen de humedad del suelo. Esto puede tener aspectos positivos o negativos. Los aspectos positivos son obvios e importantes pero el entretrejido de los residuos causado por los discos puede ser un problema mayor con el tráfico controlado porque hay menos resistencia del suelo al corte vertical de los residuos. Otras opciones incluyen el manejo de los residuos para evitar su presencia en la línea de siembra (Lámina 116) y el

uso de abresurcos que no entretrejen los residuos o que deliberadamente separan la semilla del contacto con los residuos entretrejidos. La versión de disco de un abresurco de ala coloca las semillas en cualquier lado del entretrejido que pueda crear el disco central y elimina este problema. Cuanto más friable es la naturaleza del suelo bajo el sistema de tráfico controlado, más duradero será el efecto neutral de entretrejido con este abresurcos.

Las rastras de dientes cercanos colocados a cierta distancia trabajan bien en condiciones secas pero son inaceptables en suelos húmedos ya que dejan grandes brechas con residuos ya que los dientes pueden evitarlos (Capítulo 10). Las sembradoras a golpes son aceptables siempre que pueda ser evitado el entretrejido, pero su potencial ha sido limitado por la alta resistencia de los suelos con tráfico. Los mayores problemas se encuentran en las arcillas húmedas cuando el suelo fino y los residuos se adhieren a todo el abresurcos. La experiencia en estas condiciones en tráfico controlado es aún limitada y es necesario el desarrollo de abresurcos adecuados y su posterior uso.

En general, la estructura más friable de las camas de semillas asociada con el tráfico controlado debería asegurar que los aparatos para comprimir los abresurcos trabajan más eficientemente. Tal como ha sido sugerido por Baker y Mai (1982b) y Addae *et al.* (1991), la compresión debería ocurrir alrededor o debajo de la semilla, no encima de esta. Con el tráfico controlado es probable que se presente al abresurcos un suelo más homogéneo y habrá, por lo tanto, menos necesidad de ajustar la profundidad entre los distintos abresurcos y menos variación en la cobertura de la semilla. También habrá menos desgaste, menos arrastre general y menor demanda de potencia y tracción.

La Lámina 117 muestra cómo dos abresurcos de disco en la misma máquina pueden ofrecer resultados muy diferentes, dependiendo de si están ubicados detrás de las ruedas o entre



Lámina 117 Comportamiento de dos abresurcos adyacentes que trabajan en la misma sembradora en un suelo arcilloso húmedo. A la izquierda, el abresurco estaba detrás de las ruedas del tractor y las semillas son claramente visibles sobre la superficie. A la derecha, el abresurco operaba correctamente en un suelo menos compactado.

las mismas. En ausencia de huellas diferenciales de las ruedas, la superficie del suelo también será más uniforme. Esto reduce el potencial para que ocurran diferencias en el comportamiento de los abresurcos, especialmente cuando están montados en grupos. Los abresurcos montados individualmente en uniones paralelas serán menos favorables a variaciones de profundidad cuando se encuentran las huellas de las ruedas, pero una superficie más nivelada tendrá siempre una influencia positiva en su comportamiento.

Una profundidad de siembra uniforme es fundamental para evitar una siembra excesivamente superficial en condiciones secas, o demasiado profunda en otras condiciones. Kirby (1993) observó que el momento de la emergencia se extendió a medida que la profundidad de siembra aumentaba. Heege (1993) encontró que dentro del rango de profundidad de siembra de los cereales de 25 a 45 mm, la emergencia en el campo cayó el 82 por ciento cuando la profundidad varió cerca de 6 mm y al 50 por ciento cuando la variación se incrementó a 20 mm. Heege y Kirby encontraron que la tasa de emergencia afectó el crecimiento posterior, tal como informó Benjamin (1990). Todos los investigadores sugirieron que las diferencias en la fecha de emergencia

fueron perpetuadas e incluso exacerbadas en el crecimiento posterior. Si bien estas diferencias pueden no ser suficientemente importantes para crear diferencias en el rendimiento, hacen más difícil estimar la etapa de crecimiento adecuada para los tratamientos con pesticidas. Además, esto significa que una mayor proporción del cultivo será tratada en el momento inadecuado y como resultado sufrirá mayores perjuicios.

En resumen, la menor diferencia en resistencia del suelo y una mejor nivelación de la superficie contribuirán a hacer que la siembra sea más uniforme. Esto minimiza el momento de la emergencia del cultivo y hace que el manejo posterior sea más simple y efectivo.

Las implicancias del tráfico controlado para los suelos y los cultivos

AGRONOMÍA. Siempre que los suelos severamente compactados sean aflojados antes de introducir el sistema de tráfico controlado, es probable que el problema del crecimiento inicial pobre del cultivo y la pérdida de nitrógeno por desnitrificación sean reducidas, especialmente en los primeros años de la labranza cero. El mejor crecimiento inicial será promovido por la falta de una capa de suelo compactado que

favorece el crecimiento de las raíces que exploran y extraen nutrientes de una mayor proporción del perfil del suelo.

Los agricultores australianos han encontrado que el cultivo en surcos es una extensión natural del tráfico controlado. Esto es posible porque la posición de cada surco del cultivo puede ser planificada con antelación y obtenida en la práctica con guías de precisión.

En la labranza cero, la densidad de semillas es a menudo ligeramente mayor, si bien las densidades de siembra de varios cultivos se han reducido realmente con los abresurcos más avanzados para labranza cero (Baker *et al.*, 2001). El sistema de tráfico controlado hace que la siembra sea más confiable y favorece la disminución de la densidad de siembra porque la superficie está más nivelada y hay menos compactación en el ancho de la sembradora. Sin compactación, muchos suelos forman una capa fina estable de tierra desmenuzada que acepta fácilmente las semillas con un disturbio mínimo. Esto hace que la regulación de la sembradora sea más fácil, reduce las irregularidades en su comportamiento y evita la necesidad de un mayor «seguro» de la densidad de siembra de las semillas.

Un agricultor que aplica labranza cero en el Reino Unido (Hollbrook, 1995) encontró que la cebada de primavera sembrada a 3-4 mm de profundidad era más sana que el cultivo sembrado a 40-50 mm. La siembra más superficial dio lugar a que el primer nudo emergió del coleoptile cuando este estaba 20-30 mm por encima de la tierra y no en su superficie. Esto evitó la incidencia de enfermedades (*Cercospora* sp.) y la posterior debilidad de la paja que después daba lugar al vuelco del cultivo.

Las babosas (*Deroceras reticulatum*) han sido un problema frecuente en los sistemas de cultivo que retienen los residuos en la superficie y especialmente en las camas de semillas con terrones y ranuras de siembra abiertas y pegajosas (Moens, 1989). Las babosas atacan los cultivos en dos formas: debajo de la super-

ficie, donde comen las semillas y sobre la superficie, donde comen las hojas jóvenes. Los abresurcos que producen terrones pequeños favorecen el acceso de las babosas a las semillas, mientras que las líneas de siembra pegajosas o abiertas les permiten moverse sin obstáculos de una semilla a otra. El sistema de tráfico controlado tiene el potencial para corregir estos problemas porque evita la formación de terrones y las líneas de siembra pegajosas.

RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS. La mayor parte de la investigación que compara los suelos con tráfico con los suelos sin tráfico ha sido hecha en sistemas que usan la labranza; sin embargo, trabajos hechos en Escocia con labranza cero encontraron que, aun con cargas muy modestas, los rendimientos en labranza cero se reducían. Esto ocurrió en los primeros años de la labranza cero, pero no se encontraron diferencias en la cuarta estación a pesar de que no hubo una reducción real en las zonas de suelo con tráfico (Campbell *et al.*, 1986). En los Estados Unidos de América y en Argentina, los rendimientos de la soja en los sistemas de labranza cero se redujeron entre un 10 y un 39 por ciento con cargas livianas pero reiteradas de las ruedas. Aun cuando la labranza cero se había hecho durante siete años, fue posible reducir los rendimientos como resultado de nuevas cargas (Flowers y Lal, 1986; Botta *et al.*, 2004).

RANGO DE CULTIVOS. Si bien hasta ahora se han citado primeramente casos de cultivos de granos pequeños, la introducción del tráfico controlado debería hacer posible el cultivo de un amplio rango de cultivos bajo la labranza cero. Por ejemplo, el establecimiento de cultivos de algodón bajo labranza cero ha sido exitosa aun en presencia de suelos compactados por las ruedas. Los rendimientos de fibra bajo labranza cero se redujeron solamente un año cada tres, mientras que los cultivos transplantados como los tomates, si bien con labranza en fajas, fueron comparables en dos sitios en el año

2002. La labranza en fajas del cultivo de melones dio rendimientos apenas más bajos que con los métodos tradicionales pero en ambos casos, con melones y tomates, las condiciones del suelo con terrones en el momento de la siembra/transplante fueron parcialmente responsables de los menores rendimientos. Un productor australiano de tomates, calabacines, melones, cebollas y brócoli predijo que el tráfico controlado le permitiría establecer esos cultivos bajo labranza cero. Las papas también han sido cultivadas exitosamente con coberturas espesas y labranza cero (Lamarca, 1998; Mitchell *et al.*, 2004a, b; Ziebarth, 2003, comunicación personal).

Las posibles limitaciones de la agricultura dentro de un sistema de labranza cero con tráfico controlado tienen varios orígenes:

- estructura del suelo/interacciones de los cultivos;
- inexperiencia y percepción;
- maquinaria.

Dado que los suelos completamente sin tráfico han sido prácticamente desconocidos en los sistemas de producción en los últimos tiempos es difícil predecir cómo algunos cultivos podrían reaccionar a esas condiciones de labranza cero. Del mismo modo, hay pocos datos que puedan ser usados para determinar si cultivos como zanahorias, remolacha azucarera y papas podrían comportarse adecuadamente en suelos sin tráfico y bajo labranza cero.

La única forma en que esto podría ser determinado es por medio de comparaciones de diversos parámetros del suelo tales como la densidad, la resistencia a la penetración y la porosidad. Por ejemplo, ¿la densidad de un suelo sin tráfico en labranza cero excede a la de un suelo similar cultivado con un cultivo específico? Además, ¿dentro de qué ambiente de un suelo un cultivo de raíces tendrá un comportamiento igual al de otros cultivos? Muchas de estas preguntas no tienen respuesta. Es necesario tener presente, además, que

la cosecha de cultivos de raíces causa un considerable disturbio del suelo. Si bien esto interrumpe, por lo menos parcialmente, el ciclo de la labranza cero, sería ventajoso para el resto de la rotación y para el establecimiento del cultivo de raíces. El tráfico controlado también podría minimizar las reparaciones necesarias después de la cosecha y asegurar un rápido y efectivo retorno a la labranza cero.

Los cultivos que probablemente se puedan cultivar actualmente bajo un régimen de tráfico controlado demostrados por pruebas agronómicas y basados en labranza cero incluyen:

- trigo
- cebada
- centeno
- avena
- mijo
- sorgo
- maíz
- rábano aceitero
- arvejas secas
- soja
- lino oleaginoso
- frijoles
- algodón
- arroz de secano

Esta lista es necesariamente limitada y son necesarios otros desarrollos tecnológicos y experimentos de campo antes de que puedan ser considerados otros cultivos. Sin embargo, dadas las características de esos cultivos y las condiciones climáticas típicas bajo las cuales han sido exitosos, sería bastante racional extrapolarlo a otros cultivos y climas en lugares en los cuales el tráfico controlado bajo labranza cero no sido extensivamente difundido.

Implementación del tráfico controlado

Principios básicos

Hay varios principios básicos involucrados en los sistemas con tráfico controlado:

1. Planificación anticipada.
2. Uniformización del ancho de las trochas de los vehículos.

3. Uniformización del ancho de los implementos, simples o múltiples.
4. Disciplina.

Estos principios serán desarrollados en las secciones siguientes pero se pueden encontrar mayores detalles en *Tramline Farming Systems* publicado por el Departamento de Agricultura, Western Australia (Webb *et al.*, 2000) junto con la Corporación de Investigación y Desarrollo de Granos de Australia.

Planificación anticipada y uniformización de la maquinaria

La planificación es probablemente el aspecto más importante de la conversión al sistema de tráfico controlado ya que esto asegura, entre otras cosas, que el costo se mantiene a un nivel mínimo. Algunas fincas pueden convertirse en un plazo de 12 meses; otras pueden requerir planificación y cambios a lo largo de varios años. Dentro del contexto de este libro, se asume que el punto de transición es el establecimiento de un sistema de labranza cero, pero el punto de partida podría ser arar con arado de vertedera, labranza secundaria y siembra. Por lo tanto, debe haber un compromiso inicial para un sistema que tiene significativamente menos insumos. En alguna forma, el cambio de un sistema extensivo de maquinaria hace que la economía sea más simple ya que el exceso de maquinaria puede ser vendido y sustituido por equipos nuevos o usados con la medida adecuada, probablemente con poco costo adicional. Esto también acarrea una reducción del trabajo. La economía, sin embargo, será dominada por el cambio de labranza convencional a labranza cero antes que por el tráfico controlado. Si ya se aplica un sistema de labranza mínima o de labranza cero, la transición podrá requerir una planificación más cuidadosa y en plazos mayores ya que se perderán los menores costos del sistema en vigencia y el retorno deberá aún ser mejorado.

Proceso de uniformización del ancho de los equipos

El objetivo es la uniformización por un lado del ancho de trabajo de todos los equipos y, por otro lado, de las huellas de las máquinas. El objetivo es minimizar los costos y el número de huellas de las ruedas por unidad de superficie. El factor costo significa que la mayoría de las transiciones se iniciarán con el examen del equipo existente a fin de considerar su posible adaptación. Por ejemplo, una pequeña finca que cultiva granos con un sistema de labranza mínima tiene un cultivador de 3,5 m de ancho, un rodillo de 5 m y una sembradora de 3 m; la cosechadora de cereales tiene 6,1 m de ancho y los agroquímicos se aplican con un aspersor con una barra de 12 m. Los tractores tienen una trocha variable entre 1,5 y 1,8 m y los remolques tienen una trocha de cerca de 1,8 m; la cosechadora es de 2,8 m. De hecho, ningún equipo se uniformiza con los otros para el tráfico controlado (Figura 43, izquierda). Sin embargo, las ruedas del tractor pueden ser fácilmente cambiadas a 1,8 m para uniformizarlas con las ruedas de los remolques.

Sin embargo, hay aún dos problemas a solucionar: el ancho de la trocha de la cosechadora y el ancho de la sembradora para labranza cero. Si se conserva la cosechadora de 6,1 m, la sembradora debería ser de 6 m de ancho para asegurar que la cosechadora recoja siempre todo el cultivo; el costo de esta última deberá ser presupuestado, considerando el valor de segunda mano de la sembradora existente, del cultivador y de los rodillos (la economía del tráfico controlado será estudiada en otro capítulo posterior). También puede ser posible vender un tractor, pero uno de los tractores remanentes debe ser capaz de arrastrar la nueva sembradora propuesta o, de lo contrario, se deberá adquirir un tractor de mayor potencia.

El ancho de la trocha de la cosechadora no puede ser cambiado fácilmente y esas ruedas

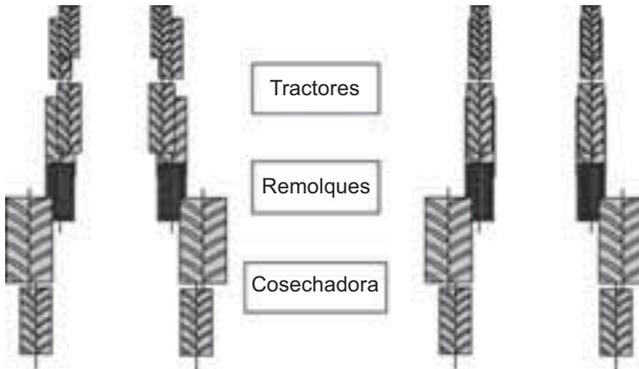


Figura 43 Colocando todos los equipos alrededor de una línea central común, solo la cosechadora tiene un ancho de trocha significativamente diferente. La posibilidad de regulación del ancho de las ruedas de los tractores permite su alineación con los remolques con el único costo adicional del trabajo necesario para realizarlo.

serán el conjunto que se extiende fuera del ancho primario de la huella. Su posición, sin embargo, es conocida y no causan necesariamente daños todos los años porque los suelos en esa época a menudo están secos y, por lo tanto, son capaces de resistir más peso. Si hubiera compactación y marcas superficiales de las huellas, estas pueden ser reparadas con un subsolador con los dientes colocados de modo tal que aflojen solo el ancho adicional impuesto por la cosechadora. Un sistema de 6 m como el descrito crea huellas que cubren alrededor del 16 por ciento del área, dependiendo del ancho de los neumáticos usados. Siempre que las huellas estén bien conservadas es posible que, en el futuro, se pueda reducir su ancho.

En una finca grande una alternativa podría ser usar un sistema de tráfico controlado de

doble huella. Esto elimina en gran parte el problema de la cosechadora y mantiene el ancho de las trochas en forma más o menos estándar. La Figura 44 muestra que el sistema trabaja con la cosechadora que pasa por encima de las huellas primarias. El ancho primario de los implementos se determina por la simple adición del ancho de las trochas comunes de los tractores, remolques y del equipo de aplicación de pesticidas. En el ejemplo anterior, el ancho primario de los implementos sería: $1,8 + 2,8 = 4,6$ m. El ancho de la barra de corte de la cosechadora puede ser cualquier múltiplo de esta cifra; en este caso la medida más práctica sería 4,6 ó 9,2 m. Sin embargo, el ancho de la sembradora puede ser de múltiplos impares del ancho primario de los implementos y esto probablemente lo limita a un múltiplo simple. Las aplicaciones de pesticidas

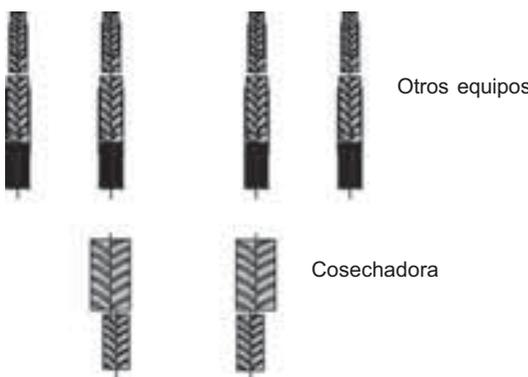


Figura 44 Sistema de doble huella para tráfico controlado donde la cosechadora se superpone a las huellas adyacentes de los tractores. El ancho del implemento primario es determinado por la suma de los anchos de las huellas del tractor y la cosechadora.

pueden hacerse con equipos con cualquier múltiplo del equipo primario si se usan las huellas primarias, por ejemplo, 4,6 m, 9,2 m, etc. Si el equipo de aplicación de pesticidas está montado sobre un eje ancho y corre sobre las huellas de la cosechadora (para mejorar la estabilidad del aspersor), el ancho del equipo de aplicación de pesticidas puede ser solo de múltiplos pares del ancho de los implementos primarios.

Actualmente ninguno de los anchos de los implementos citados anteriormente es parte de equipos estándar, por lo que es necesario algún ajuste para obtener el ancho primario de huella, incluso en el sistema de doble huella. Por ejemplo, si la huella primaria fuera reducida a 1,7 m esto se debería corresponder con el ancho de las cosechadoras actualmente disponibles (9 m) y con los equipos de aplicación de pesticidas (18 m, 27 m, 36 m). O bien, la regulación de las huellas podría ser a 2 m y 3 m con un implemento primario de 5 m. La barra de corte de la cosechadora debería ser ligeramente más ancha que el ancho calculado para asegurar la recolección de todas las plantas del cultivo en todos los casos.

Otro método para uniformizar la maquinaria es alinearla en el mismo ancho de las huellas de la cosechadora, porque como se ha mencionado anteriormente es difícil alterar

esta máquina. Lamentablemente, la cosechadora es la máquina con la trocha más ancha, y con los modelos actuales esto significa un ancho primario de trocha de cerca de 3 m para todos los vehículos e implementos. Esto es común en Australia (Lámina 118) donde puede haber menos necesidad de conducir en carreteras y donde las áreas rurales tienen relativamente baja densidad de población. En Europa y otras regiones con alta densidad de población y frecuentemente con carreteras angostas, es probable que surjan mayores dificultades. Sin embargo, dado que la labranza cero reduce el número de operaciones de campo y que los vehículos para aspersiones podrán tener anchos de trocha fácilmente variables, la magnitud del problema debería disminuir considerablemente. Probablemente, solo la cosechadora y la sembradora tengan una trocha de 3 m cuando circulan en las carreteras. La ventaja de este sistema es que hay pocas limitaciones relacionadas con el ancho primario de los implementos. Con máquinas muy anchas pueden ser necesarios algunos ajustes para extender el sinfín de descarga a fin de asegurar que la unidad de transporte pueda circular en la senda adyacente.

Para las fincas pequeñas, otra alternativa similar a la doble huella se refiere a la distancia de las cosechadoras entre las ruedas similares



Lámina 118 Ejemplo de un sistema australiano de módulo primario de 9 m y de una trocha primaria de 3 m de ancho (Webb *et al.*, 2000).

de los pases adyacentes del tractor como se muestra en la Figura 45. Esto se basa en:

Ancho del implemento primario =
 ancho de la trocha de la cosechadora
 Ancho de la trocha primaria =
 ancho de la trocha de la cosechadora/2
 Ancho de corte de la cosechadora =
 ancho de la trocha de la cosechadora \times 1,5
 Ancho del equipo de aplicación de pesticidas =
 cualquier múltiplo del ancho
 del implemento primario

Este sistema introduce potencialmente un gran número de trochas pero algunas de estas podrían ser usadas una sola vez al año, para la siembra, y la mayoría pueden ser sembradas como se describe más adelante.

Hasta ahora se han analizado en primer lugar los sistemas usados para la producción de cereales, pero los principios de labranza cero pueden ser igualmente aplicados a la mayoría de los otros cultivos. Si bien hay escasa investigación sobre la labranza cero para el cultivo de hortalizas, existe un serio potencial dentro de los sistemas de tráfico controlado, tal como se presenta más adelante.

Diseño del campo y manejo del sistema

La orientación y el diseño de las huellas para el tráfico controlado son parte del proceso de planificación y cada área o conjunto de parcelas debe ser considerado independientemente. Los mapas detallados del campo son parte fundamental de esta planificación ya sea por sus mediciones, registros históricos o fotografías aéreas. Los datos topográficos también son de valor, especialmente en el caso de fincas con laderas pronunciadas. Los cambios en el tipo de suelo dentro de una propiedad son probablemente de menor importancia que con los sistemas de tráfico incontrolado pero aun así son útiles para conocer esos parámetros, especialmente respecto al drenaje. Respecto a este último elemento en especial, es fundamental que cualquier sistema de drenaje esté operando correctamente o, que si presenta problemas, estos sean corregidos antes de instalar el sistema de tráfico controlado. Esto también es importante para mejorar la estructura del suelo. Si se encontrara un problema de piso de arado, el perfil debería ser abierto de acuerdo

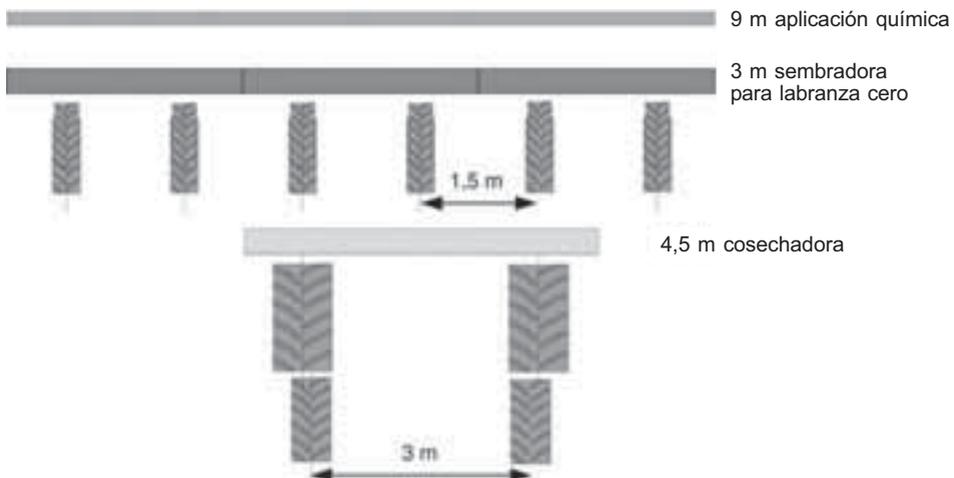


Figura 45 Sistema de tráfico controlado para la maquinaria en una finca pequeña. La trocha primaria de 1,5 m de ancho está espaciada a intervalos de 1,5 m y de esta manera cualquier par de ruedas puede ser usado por todo el equipo, excepto la cosechadora.

a las indicaciones sugeridas por Spoor *et al.* (2003).

Los principales aspectos a considerar en el diseño de un sistema de tráfico controlado son:

- Orientación de los caminos permanentes en relación a:
 - largo del camino
 - pendiente y movimiento del agua
 - forma del campo y surcos cortos
 - objetos extraños (árboles, estanques, etc.)
 - sistema de drenaje del campo
- Manejo de los caminos y acceso al campo

Orientación de los caminos permanentes

En muchas situaciones la mayor longitud del área considerada es elegida como orientación porque esto mejora la eficiencia del trabajo de campo al reducir el número de giros al final de la parcela. La longitud de la carrera que esto crea también debe ser considerada respecto a cualquier pendiente significativa del terreno. Si bien es probable que la infiltración de agua en el suelo mejore significativamente en comparación con los predios manejados en forma tradicional, el agua tiende a correr a lo largo de los caminos y a erosionarlos, especialmente si hay largas distancias en forma ininterrumpida y están orientados hacia arriba y abajo de las pendientes. En Australia, donde el tráfico controlado está ampliamente difundido y donde los eventos de lluvias pueden ser violentos, las operaciones de orientación son más flexibles con el sistema de tráfico controlado. En este sistema funcionan los diseños hacia arriba y abajo o perpendiculares a las laderas, mientras que con el tráfico sin controlar predominan los diseños perpendiculares o en contorno.

La orientación del tráfico controlado también debe considerar la presencia del sistema de drenaje y especialmente de aquellos que involucran drenes topo. Estos últimos corren

predominantemente hacia arriba y abajo de las laderas y el objetivo con el sistema de tráfico controlado es hacerlos paralelos a las laderas. El peligro con los cruces reiterados de caminos y los drenes topo es que se pueden romper prematuramente. Correr en forma paralela a los drenes topo significa cruzar los drenes, si bien es improbable que estos sean dañados, en parte debido a su profundidad pero además porque a menudo están rellenos con grava. Si los caminos corren paralelos a los drenes topo existe el peligro de que algunos coincidan con los mismos y los puedan dañar, pero, en general, el efecto sobre el sistema de drenaje dentro de un campo es insignificante. Al correr en forma paralela también se asegura que los drenes topo pueden ser eventualmente reconstruidos sin interrupción de los caminos. Más información sobre los sistemas de drenaje se encuentra en Spoor (1994).

Un enfoque similar se adopta con las torres o postes dentro del campo; en este caso pueden ser usados para orientación y como una línea para establecer el primer camino. En el caso desafortunado de que una finca tenga el sistema de drenaje y la línea de torres en diferente orientación se prefiere seguir la orientación de las torres. La experiencia con otros sistemas de drenaje o infraestructura de campo es limitado porque el tráfico controlado aún debe ser adoptado en áreas en que esas situaciones ocurren repetidamente.

Manejo de los caminos

El potencial que pueden tener los caminos para favorecer la erosión puede ser contrarrestado de varias formas. Como principio básico, los caminos deben tener un manejo activo desde su establecimiento; no se puede permitir que se hundan o formen surcos en forma diferente. Deberían ser rellenos adecuadamente con tierra de la zona vecina, especialmente los caminos nuevos y si el suelo es algo suelto. Dentro de un régimen de

labranza convencional estas recomendaciones pueden ser aplicadas durante la creación de falsas camas de semillas para el control de malezas. Sin embargo, en el contexto de la labranza cero si se forman huellas profundas o si las ruedas producen un flujo de suelo plástico podría ser usada una unidad pequeña (Lámina 119). Este implemento no debería ser usado con frecuencia ya que se pueden redondear los bordes de la tierra cultivada y generar una profundidad no uniforme de siembra.

Si la presión de las malezas o la erosión sobre el suelo desnudo son inaceptables o debido a limitaciones de la maquinaria los caminos toman un alto porcentaje del área, es posible sembrar dentro de los mismos (en general, esto se aplica solamente a los casos en que esos caminos no serán usados después de la siembra del cultivo). Las raíces de las plantas establecidas en esos caminos a menudo exploran el suelo en forma lateral y llegan al suelo del cultivo. Como resultado, y si bien esas plantas pueden rendir algo menos, maduran al mismo tiempo del cultivo y contribuyen a la cosecha total. Esto no es lo que ocurre cuando se siembran en caminos que

posteriormente son usados para el cultivo; en estos las plantas a menudo quedan enanas a causa del repetido pasaje de vehículos y retrasan su madurez. Cuando los caminos se siembran con un cultivo de surcos angostos (300 mm o menos) el espacio entre surcos puede ser ligeramente alterado como se ilustra en la Figura 46. Los abresurcos deberán ser regulados muy específicamente para enfrentar esta situación y el desgaste será algo más alto. Hasta ahora existe una limitada experiencia con esta técnica y los agricultores deberán hacer alguna experimentación previa; sin embargo, esta técnica tiene la ventaja de marcar temporariamente las huellas.

En algunos casos, un manejo activo de los caminos podría ser necesario en las laderas para asegurar que el agua recogida al borde de los mismos no alcance un potencial erosivo. Esto se obtiene haciendo canales diagonales a intervalos regulares que desvían el agua fuera de los caminos.

El segundo principio del manejo de los caminos es evitar que el agua se estanque o que fluya a lo largo de los mismos. El primer problema puede, en gran medida, ser evitado con



Lámina 119 Herramienta rotatoria para mantenimiento usada para manejar el flujo de suelos plásticos causado por las ruedas. Normalmente, no debería ser usada más de un vez por año (J. Grant, 2001, comunicación personal).

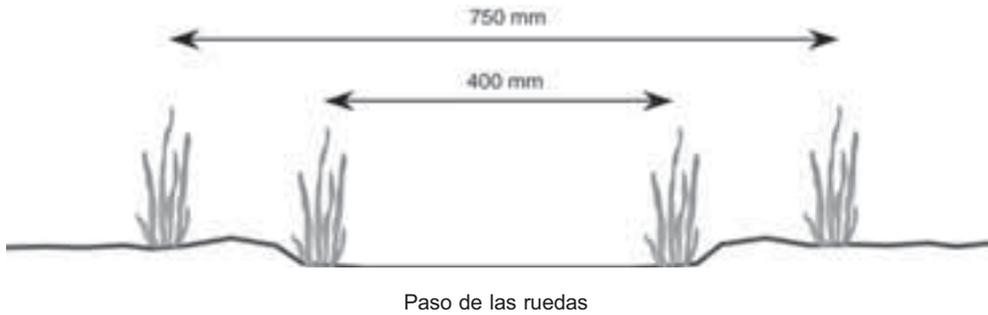


Figura 46 Ejemplo de como un cultivo de cereales podría ser sembrado en un camino. El espacio nominal de 250 mm es modificado a 400/175 mm para favorecer el acceso de las raíces de las plantas en el camino a la cama de semillas adyacente.

un manejo activo, pero en los lugares bajos del campo o en áreas con un drenaje natural pobre pueden crear esta situación. La orientación debería ayudar a evitar los lugares bajos pero esto no siempre es posible; una alternativa es modificar los bordes de los caminos, como se mencionó anteriormente.

La erosión del camino puede también ser reducida por una faja tampón, a mitad de la ladera. Esta podría también proporcionar un área para insectos beneficiosos y, si está ubicada correctamente, solucionar problemas con surcos cortos.

Sistemas de guía

En cualquier sistema de tráfico controlado es fundamental contar con una forma de asegurar que los caminos no solo estén orientados correctamente, sino que también su posición sea correcta desde el inicio. Tradicionalmente, la posición correcta se ha obtenido con programas montados en las máquinas que proporcionan una línea de marcación paralela separada por la distancia requerida. El operador usa esta línea en el pase siguiente para colocar la máquina en la posición adecuada. Esto funciona bien con máquinas de ancho limitado pero cuando esta llega a 10 m o más, el

tamaño, fortaleza y duración son factores limitantes. Las cargas laterales también pueden ser un problema si el marcador se bloquea con el suelo y los costos de mantenimiento también pueden ser altos. Es aun un problema mayor bajo la labranza cero porque el marcador debe hacer una línea visible en un suelo sin labrar, a menudo cubierto por residuos. Los marcadores por lo general tienen una precisión relativamente baja e introducen errores que se acumulan de un pasaje al siguiente. Una alternativa, que lamentablemente conserva errores acumulativos, es colocar una video cámara de circuito cerrado en la extremidad del implemento con las imágenes transmitidas a una pantalla en la cabina del operador. Esto requiere que el operador observe continuamente la pantalla para mantener la maquinaria en la posición correcta como se haría sobre la línea marcada.

Una alternativa cada vez más disponible y atractiva son los sistemas electrónicos basados en el sistema diferencial de posición global (SDPG) que usa señales de satélites. Existe un amplio rango de equipos, que dependen del grado de precisión ofrecido. Con los sistemas de tráfico controlado es deseable una precisión de ± 3 cm con un error máximo de ± 5 cm, si están planeadas operaciones de cultivos en surcos anchos. Tales sistemas también pueden

ser acoplados directamente a la dirección del vehículo para proporcionar la capacidad de conducción automática, tanto en línea recta como en huellas curvas paralelas. La conducción automática permite que los conductores se concentren en la operación del implemento y se liberen del estrés de conducir sobre una marca; además, evita correcciones excesivas de la conducción que pueden afectar la operación de la maquinaria. Otra ventaja, especialmente con equipos anchos, es que cualquier trocha puede ser usada en cualquier secuencia ya que no depende de una marca hecha en el paso previo. Por ejemplo, los operadores pueden saltar un pase cada dos. Esto hace que los giros sean más simples con la ventaja adicional de que el trabajo del campo puede ser completado en el punto de inicio de la siembra, que es por lo general el punto de acceso al campo.

También es importante notar que los implementos fuera de la línea lateral que se encuentran en varios sistemas de guía por satélites no puede ser usado con el tráfico controlado. Esta característica compensa por un implemento que no se arrastra centralmente detrás del tractor al cambiar el tractor en los pases adyacentes. Si esto fuera usado con el sistema de tráfico controlado sacaría el equipo fuera de las huellas. Cualquier desalineamiento en el sistema de tráfico controlado debe, por lo tanto, estar físicamente relacionado con el tractor o con el implemento y esto puede crear un desafío importante en las laderas. El equipo remolcado puede requerir alguna rueda de conducción para solucionar este problema.

Economía

Hay varias formas por las cuales es posible evaluar un sistema de tráfico controlado y todas darán respuestas diferentes. Cada finca, circunstancia y gama de maquinaria será única y los cambios económicos serán muy específicos. El objetivo en este capítulo es, por lo

tanto, establecer principios y los costos/ganancias en lugar de entrar en análisis detallados de costos que proporcionan solo una hipótesis de solución. Este enfoque también se concentra en la transición de la siembra en labranza cero con tráfico sin controlar a un sistema similar pero con tráfico controlado.

La economía se centra en:

- costos y cronología de la planificación y transición;
- costos fijos y variables del sistema empleado;
- cambios en los resultados;
- costos del manejo.

Costos y cronología de la planificación y transición a tráfico controlado

La planificación es la clave para minimizar los costos. Aun así, el costo de la planificación es difícil de cuantificar. El costo típico de una consultoría para la conversión a tráfico controlado en Australia es de alrededor de \$EE UU 75/hora. Sin embargo, hay numerosos agricultores que estudian el problema por sí mismos y el costo de esos estudios es cargado a los gastos generales normales. De cualquier manera, se debe considerar cuidadosamente el empleo de expertos para determinar los diseños de campo más eficientes. El cambio de un diseño después de su instalación no es una alternativa simple, consume mucho tiempo y recursos y también resulta en pérdida de productividad.

El proceso de planificación involucra considerar los equipos existentes en la finca y analizar cuántos y cuáles de estos pueden ser utilizados en el nuevo régimen. Un panorama claro del nuevo régimen de cultivos y de maquinaria en un sistema de tráfico controlado debe ser claramente identificado en esta etapa, antes de que puedan ser estimados los costos de la transición. Estos costos se consideran en tres categorías: i) el cambio de implementos o

máquinas; ii) el cambio de los ajustes de las ruedas, y iii) la conducción:

1. El cambio de la maquinaria podría incluir la compra de nuevos equipos y al mismo tiempo descartar los equipos existentes. Si el cambio a labranza cero se hace al mismo tiempo que la introducción del sistema de tráfico controlado, habrá más equipos que requieran atención, pero existe la oportunidad de integrar todo el equipo, en lugar de solo una parte. Con el tráfico controlado, la siembra con labranza cero tendrá menos penetración y requerirá menos fuerza de arrastre y como resultado habrá una menor demanda de potencia del tractor, por lo que es posible que, a largo plazo, haya economías. También puede ser necesaria la centralización de la plataforma de corte de la cosechadora ya que muchas están descentralizadas para ayudar a la descarga. Otro aspecto importante que se debe considerar es la concordancia del ancho de los implementos con el ancho de las trochas de las ruedas.
2. El costo de cambio del ancho de las trochas puede variar entre \$EE UU 750 y 4 000 (Webb *et al.*, 2000) y refleja la considerable diversidad existente en diseños de las máquinas, configuraciones de los ejes y las ruedas. Este costo también varía considerablemente dependiendo del tipo o sistema adoptado, por ejemplo, huella simple o doble, como se ha descrito anteriormente. Es probable que para los sistemas de una sola huella el costo sea ligeramente mayor, ya que todo el equipo deberá ser ajustado al mayor ancho de las ruedas de la cosechadora. Actualmente, tales conversiones son posibles en algunos tractores con un costo total de los ejes anteriores y posteriores de alrededor de \$EE UU 10 000. La mayoría de los otros equipos pueden ser modificados localmente o en el taller de la finca. Para los sistemas de doble huella, los costos pueden limitarse, por ejemplo, al tra-

bajo necesario para alterar la posición de los aros en el centro o al intercambio de las ruedas de un lado a otro.

3. Los costos para los sistemas de conducción pueden limitarse al tiempo necesario para adaptar los brazos marcadores del equipo de campo existente a un sistema de satélite de autoconducción con un error medio de ± 3 cm y a un costo aproximado de \$EE UU 50 000. El mercado y, por lo tanto, el costo de la estructura para estos sistemas basados en los satélites está cambiando rápidamente y el costo total del sistema puede no ser atribuible al sistema de tráfico controlado. Muchos agricultores están adquiriendo ahora estos sistemas para la agricultura convencional como un medio de asegurar las operaciones, así como de establecer líneas de paso para la aplicación de pesticidas.

Esto último no solamente proporciona mayor flexibilidad, sino que excluye la necesidad de establecer marcas dentro del cultivo. Tradicionalmente estas han sido instaladas por equipos especiales en la sembradora que deja líneas sin sembrar a intervalos predeterminados.

Para introducir el sistema de tráfico controlado, un sistema existente debería ser mejorado de, tal vez, ± 25 cm manuales a ± 3 cm con autoconducción. El costo adicional sería de alrededor de \$EE UU 17 000.

El momento de los cambios dependerá de la inversión que ha sido calculada; cuanto mayor sea la inversión, menor deberá ser el tiempo de realización. Esto se debe a que los mayores beneficios se podrán obtener solamente cuando el sistema de tráfico controlado esté disponible. Estos beneficios se analizan en la sección sobre resultados.

Costos fijos y variables

Como costos fijos generalmente se consideran la mano de obra corriente, la maquinaria,

la renta y los gastos generales, mientras que los agroquímicos, las semillas, el combustible, el desgaste de los equipos, los contratistas y la mano de obra ocasional son considerados gastos variables (Nix, 2001). En el caso del sistema de tráfico controlado es posible esperar que el mayor impacto sea una reducción de los costos fijos y especialmente de aquellos relacionados con la mano de obra y la maquinaria. En el caso del tráfico controlado el beneficio marginal de la mano de obra será en primer lugar menor que, pero adicional, el beneficio de la mano de obra ocasional del cambio a labranza cero.

Si bien sería fácil atribuir al sistema de tráfico controlado los mejoramientos en la eficiencia de campo debido a una mejor guía, esto puede ser obtenido igualmente dentro de las prácticas convencionales usando los sistemas de las líneas de guía en las sembradoras o en la guía por satélite y, por lo tanto, no es considerado como un beneficio aportado por el sistema de tráfico controlado. El principal impacto del sistema de tráfico controlado sobre la mano de obra en el sistema de labranza cero será una reducción de la demanda durante la siembra, la cual, si las condiciones lo permiten, será algo más rápida debido a una menor fuerza de arrastre por la sembradora. Salvo cuando se emplea un contratista en esta tarea, es probable que el agricultor obtenga a corto plazo solo un beneficio de oportunidad. A largo plazo puede ser posible incrementar la tierra trabajada con una determinada fuerza de trabajo o perder algunos costos de mano de obra si se emplean varias máquinas para la siembra.

Los cambios en los costos variables se basan en ahorros en semillas, combustible y agroquímicos, todos los cuales deberían ser menores. La demanda típica de potencia para sembrar a una velocidad específica se reduce en cerca del 25 por ciento, incluida la menor resistencia a los rodillos que puede ser atribuida al trabajo en las huellas permanentes en lugar de proceder sobre la cama de semillas. Debido a las mejores condiciones del suelo

es posible sembrar a menores densidades con menos riesgo, si bien este punto también debería ser mejorado por medio de la metodología de siembra antes que confiar en el sistema de tráfico controlado. No es difícil predecir economías en el desgaste de los equipos, pero pueden aumentar si el suelo está bajo el sistema de labranza cero.

Es probable que se reduzcan los costos de los productos agroquímicos, principalmente en razón de una mayor precisión y la posibilidad de asperjar selectivamente en las bandas entre los surcos y en el surco con el cultivo. Si bien dicho sistema no es exclusivo del sistema de tráfico controlado, las huellas mantenidas ofrecen un gran potencial. Si se considera que el costo de los pesticidas protectores para el cultivo del trigo en una zona templada se acerca al 50 por ciento del costo total de semillas, fertilizantes y pulverizaciones (Nix, 2001), la economía que se haga en estos insumos tiene una incidencia importante sobre los costos. Del mismo modo, una reducción en los insumos de agroquímicos, o por lo menos de agroquímicos menos perjudiciales para el ambiente, es un beneficio adicional. También es posible presumir que los fertilizantes aplicados en el sistema de tráfico controlado serán utilizados en una forma más eficiente y, si bien esto puede no ser una economía para la finca, resultará en mejores rendimientos (debatidos más adelante) y en menores riesgos de contaminación de las corrientes de agua fuera de la finca.

Cambios en los resultados

Al revisar la investigación llevada a cabo en los últimos 30 ó 40 años sobre la compactación del suelo en 17 cultivos diferentes se encontró que los rendimientos en el sistema de tráfico controlado, tanto en suelos labrados como en labranza cero, se habían incrementado entre un 9 y un 16 por ciento, comparados con el tráfico sin controlar. Los datos más conservadores sobre sistemas de labranza

cero sugieren un nivel más modesto de mejoramiento, de alrededor del 10 por ciento. El tipo de suelo, las prácticas culturales, las rotaciones de cultivos y el porcentaje del área considerada bajo huellas permanentes obviamente moderan esos porcentajes sobre los cuales tiene influencia el espaciamiento de los surcos del cultivo. Para determinar en la práctica qué es lo que realmente sucede, cada caso debe ser considerado en forma individual; la descripción que se hace a continuación podría ser un enfoque a ser adoptado.

Si tomamos los 8 m del sistema considerado anteriormente y consideramos una hilera de cultivo sembrado en surcos estrechos, como el trigo (250 mm en este caso), podemos suponer que se aplica lo siguiente:

ancho del implemento primario = 8 m
 ancho de la trocha primaria = 3 m
 pesticidas aplicados con asperjador
 de 24 m de ancho
 se siembran dos de cada tres trochas
 primarias

Asumiendo que el rendimiento del cultivo mejora solamente en un 10 por ciento en el área sin tráfico y que la cosechadora tiene ruedas de cerca de 750 mm de ancho, el número de surcos afectados por las ruedas será de $3 \times 2 \times 4 = 24$ surcos de un total de 96. En esos surcos no habrá mejoramiento de los rendimientos y, por lo tanto, el mejoramiento neto será del 7,5 por ciento. Esta es realmente una estimación conservadora porque los sistemas convencionales por lo general tienen líneas de guía donde faltan por lo menos dos surcos cada 24 m de ancho.

Costos del manejo en el campo

Es probable que los principales costos de manejo de las operaciones en el campo estén asociados con las huellas permanentes. Como se indicó anteriormente un pequeño equipo

puede ser suficiente para esta tarea (Lámina 119), pero dentro de un régimen de labranza cero esto representa un paso adicional hecho, por lo general, después de la cosecha. La experiencia sugiere que esto puede ser necesario en los primeros años de la conversión y cuando la operación se debe hacer en condiciones húmedas. En algunos casos, esto puede ser necesario solamente en las huellas de los equipos de aplicación de pesticidas.

Resumen de los costos y ganancias

El Cuadro 32 proporciona una revisión general de los aspectos considerados en el texto anterior e intenta cuantificar un cierto número de variables. Como se señaló anteriormente, y ha sido confirmado por Uri (2000), las variables son tan numerosas que cualquier ejemplo calculado sobre los sistemas de conservación o de labranza cero proporcionará solamente una solución específica única en una situación particular. Es preferible, por lo tanto, contar con las herramientas y los procedimientos para calcular en lugar de dar una respuesta única.

La magnitud de esos costos puede ser analizada al examinar algunos de los beneficios. Un precio internacional del trigo de \$EE UU 100 y un rendimiento promedio de 4/ha incrementados en un 7,5 por ciento en 500 hectáreas producen un ingreso adicional de \$EE UU 15 000/año. A los precios del año 2001, una reducción del 20 por ciento del tamaño del tractor de 134 kW daría un ahorro de cerca de \$EE UU 17 000. El beneficio neto de estos dos elementos en 500 hectáreas sería de \$EE UU 32 000 al final del primer año.

Varios autores presentan análisis detallados en distintas regiones, a los cuales remitimos a los lectores para mayor información. Gaffney y Wilson (2003) sugieren, por ejemplo, un beneficio neto de \$EE UU 15-25/ha para el cambio al sistema de tráfico controlado dentro de un régimen de labranza cero en un

Cuadro 32 Factores y variables con impacto en la economía del cambio de un tráfico sin ordenar a un tráfico controlado en un sistema de labranza cero, su magnitud probable y el nivel después de la transición.

Factor/variable	Costo \$EE UU	Ahorros/beneficios (%)
Consultoría diseño del campo para tráfico controlado	75/h	
Precio de la sembradora (Uri, 2000)	6 400	11
Guía con sistema diferencial de posición global con ± 25 cm precisión de paso a paso ^c	2 400 ^a	
Mejoramiento de la guía del sistema diferencial de posición global de ± 25 cm a ± 3 cm precisión ^c	15 400 ^b	
Guía con sistema diferencial de posición global ± 3 cm precisión con conducción automática	5 400-10 200	
Conversiones de los ejes a 3 m:		
Tractores – por cada tractor con garantía total	750-4 000	
Sembradoras, remolques, por unidad	5 000-7 000	
Asperjadores autopropulsados con garantía total (Innecesarios si están montados en el tractor. Además, muchos vehículos norteamericanos de múltiple propósito tienen actualmente ejes de 3 m)		17-25 5 ^d
Tractor de baja potencia para arrastrar sembradora		20
Mano de obra		15
		20
Costos variables:		10
Semillas		
Combustibles	3/ha	7,5
Repuestos, elementos que trabajan en contacto con el suelo		
Agroquímicos		
Mantenimiento de las sendas		
Rendimiento de los cultivos		

Notas: ^a Costo adicional al sistema de ± 25 cm, por ej., costo total sería 6 400 + 2 400 = \$EE UU 8 800

^b Costo adicional al sistema de ± 3 cm, por ej., costo total sería 8 800 + 15 400 = \$EE UU 24 200

^c Esta opción tiene una tasa anual de corrección de la señal de \$EE UU 1 330

^d Potencia del tractor o reducción de mano de obra, no ambos. Ver «Costos fijos y variables» en el texto.

vertisol en Queensland, Australia, mientras Mason *et al.* (1995) para el mismo escenario en South Burnett, Australia sugieren un mejoramiento neto de \$EE UU 75/ha.

Resumen de la agricultura con tráfico controlado como una práctica complementaria de la labranza cero

1. La agricultura con tráfico controlado es un sistema de producción de cultivos en el
2. El sistema de tráfico controlado confía en los buenos sistemas de guías para instalar

cual la zona de cultivos y las sendas de tráfico están clara y permanentemente separadas. En la práctica esto requiere:

- a. uso de las mismas trochas en todos los vehículos para todas las operaciones de campo;
- b. todas las máquinas deben tener el mismo ajuste de ancho de ruedas;
- c. todos los implementos tienen una medida particular de ancho o múltiplo de esta.

- y mantener las huellas permanentes de las ruedas en el mismo lugar y de año en año. Los principales sistemas para lograr esto son:
- a. marcadores físicos que proporcionan un medio para posicionar el pase siguiente el cual, si está integrado con la siembra, puede ser usado para introducir surcos guía para un uso posterior;
 - b. video cámaras de televisión de circuito cerrado con una pantalla en la cabina del operador;
 - c. sistema diferencial global de posición usando satélites (SDGP);
 - d. conducción automática controlada por el sistema de guía.
3. El sistema de tráfico controlado debería liberar todo el potencial de la siembra en labranza cero al evitar el daño de la compactación del suelo en la zona del cultivo. Es probable que esto de como resultado:
 - a. mejores rendimientos de los cultivos desde el inicio;
 - b. mejor eficiencia en el uso de los nutrientes obtenida gracias a una mayor proliferación de las raíces;
 - c. mejor porosidad del suelo que proporciona mejor infiltración del agua, drenaje e intercambio gaseoso;
 - d. menor peligro de denitrificación, especialmente en la presencia de residuos orgánicos;
 - e. menor fuerza de arrastre y menor desgaste de los abresurcos;
 - f. menos mano de obra y menos consumo de combustible en las operaciones de siembra;
 - g. menor demanda de potencia para la siembra, lo que permite el uso de un tractor más pequeño para obtener el mismo resultado;
 - h. abresurcos más confiables y precisos en una mayor gama de condiciones de suelos;
 - i. potencial de un mayor rango de cultivos a ser sembrados bajo labranza cero.
 4. En otras situaciones muchas de las ventajas provendrán del cambio a labranza cero el cual reduce pero raramente elimina las ganancias adicionales a ser obtenidas con el sistema de tráfico controlado. En la mayoría de los casos la combinación del tráfico controlado con la labranza cero llega a un mayor potencial que la labranza cero.
 5. El sistema de tráfico controlado permite que los agricultores anticipen mayores niveles de precisión en todas las operaciones para poder:
 - a. aumentar la flexibilidad y la eficiencia del control de malezas;
 - b. asperjar el surco del cultivo y los entresurcos en forma independiente;
 - c. usar pesticidas no selectivos en los entresurcos;
 - d. tal vez colocar y manejar los residuos para permitir su manipulación con mejores resultados.
 6. El costo de convertir al sistema de tráfico controlado no debe ser grande siempre que sea cuidadosamente diseñado y parte del proceso de planificación para el futuro. Si es planificado correctamente, es probable que los beneficios superen en mucho los costos.
 7. Hay numerosas formas de llegar al sistema de tráfico controlado que varían en su costo. El diseño del campo es un aspecto particularmente importante porque es necesario considerar el drenaje del campo, la pendiente, la eficiencia de la operación y los obstáculos permanentes.
 8. Las huellas permanentes de las ruedas en un sistema de tráfico controlado deben ser manejadas para asegurar un comportamiento óptimo. Es probable que el manejo incluya:
 - a. rellenos regulares, preferiblemente como parte de las operaciones normales de campo;
 - b. formación del drenaje de las huellas hacia las pendientes en las áreas bajas;
 - c. siembra de los cultivos en circunstancias particulares y en forma especial.

9. Otros beneficios ambientales adicionales pueden ser obtenidos por medio de la labranza cero en combinación con el sistema de tráfico controlado.