

Agricultura de conservación y manejo de malezas

Virginia Nichols, Nele Verhulst,
Rachael Cox, Bram Govaerts





Agricultura de conservación y manejo de malezas

Virginia Nichols^{a, b}, Nele Verhulst^b, Rachael Cox^b, Bram Govaerts^b

^aWashington State University, Departamento de Ciencias de Cultivos y Suelos, Johnson Hall, Pullman, WA 99163.

^bCentro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México.



Este material didáctico fue redactado por el Programa Global de Agricultura de Conservación del CIMMYT. Dirija sus comentarios para mejorarlo a Bram Govaerts (b.govaerts@cgiar.org).

Con sede en México, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (conocido como el CIMMYT) es un organismo sin fines de lucro que se dedica a la investigación agrícola y la capacitación. El Centro trabaja para reducir la pobreza y el hambre mediante el aumento sustentable de la productividad del maíz y del trigo en el mundo en desarrollo. El CIMMYT cuenta con el banco de semillas de maíz y trigo más grande del mundo y es conocido en particular por haber iniciado la Revolución Verde que salvó millones de vidas en Asia, hecho que motivó que el Dr. Norman Borlaug, del CIMMYT, recibiera el Premio Nobel de la Paz. El CIMMYT es miembro del Consorcio del CGIAR y recibe fondos de gobiernos nacionales, fundaciones, bancos de desarrollo y otras instituciones públicas y privadas.

© Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 2015. Todos los derechos reservados. Las designaciones empleadas en la presentación de los materiales incluidos en esta publicación de ninguna manera expresan la opinión del CIMMYT o de sus patrocinadores respecto al estado legal de cualquier país, territorio, ciudad o zona, o de las autoridades de éstos, o respecto a la delimitación de sus fronteras. Las opiniones expresadas son las del (los) autor(es) y no necesariamente representan las del CIMMYT ni las de nuestros aliados. El CIMMYT autoriza el uso razonable de este material, siempre y cuando se cite la fuente.

Agricultura de conservación y manejo de malezas

1. Introducción

1.1 Agricultura de conservación

La agricultura de conservación es un sistema de manejo de cultivo construido sobre tres principios:

1. Reducir la labranza: En los sistemas de agricultura de conservación los productores se esfuerzan por perturbar el suelo lo menos posible para evitar destruir su estructura.
2. Mantener la cubierta del suelo mediante la retención de residuos del cultivo o vegetación viva: una cobertura de la tierra durante todo el año protege el suelo de la erosión, promueve la retención del agua en el suelo, mejora las propiedades físicas y químicas, y promueve la actividad biológica.
3. Utilizar rotaciones de cultivos: La diversificación de los cultivos plantados sucesivamente ayuda al manejo de plagas y enfermedades, el ciclo de los nutrientes y mitiga el riesgo económico.

Estos principios proporcionan un marco flexible para trabajar dentro de una variedad de ambientes y situaciones socioeconómicas. Dependiendo del sistema de producción previo, la adopción de la agricultura de conservación puede involucrar cambios importantes en el manejo —los cambios en el manejo de malezas con frecuencia son percibidos como los más difíciles. Las comunidades de malezas y la dinámica poblacional cambiarán en respuesta a la adopción de la agricultura de conservación y, de la misma manera, se necesitará ajustar los métodos de control de malezas. Adicionalmente, la labranza como táctica de control de malezas ya no será una opción. El manejo de malezas siempre será específico a la situación, pero la literatura científica puede proporcionar generalidades de lo que se puede esperar y ayudar a identificar cuáles tácticas son más efectivas.

1.2 Manejo de malezas basado en la ecología

Al desglosar los ciclos de vida de las malezas en reservas y flujos (figura 1), podemos determinar puntos de intervención potenciales e identificar

dónde cada uno de los tres principios de la agricultura de conservación puede inducir cambios en las poblaciones de malezas.

El manejo agronómico y su efecto sobre el ambiente de producción puede alterar la tasa y magnitud de los flujos entre los estados de malezas. En general, cuatro posibles puntos de intervención son:

1. Aumentar la pérdida natural de semillas de malezas en y sobre el suelo.
2. Manipular el establecimiento de plántulas de malezas.
3. Minimizar la producción de semillas por plantas establecidas.
4. Prevenir la dispersión de semillas y el reclutamiento a través de semilla, riego o abono adúlteros con semillas de maleza.

Cada principio de la agricultura de conservación se relaciona de manera característica con los ciclos de vida de malezas, actuando mediante diferentes puntos de intervención. El modelo de reserva y flujo no toma en cuenta cambios en la comunidad de malezas, pero estos cambios son importantes ya que determinan en gran medida qué tipo de manejo de malezas será efectivo. Haremos una revisión general de la influencia de los principios de la agricultura de conservación y sus interacciones sobre (1) los ciclos de vida de las malezas, a través de los puntos de intervención, y (2) las comunidades de malezas. Adicionalmente, trataremos algunas tácticas para el control de malezas que puedan ayudar a reducir la dependencia de la agricultura de conservación sobre el uso de herbicidas para el manejo de malezas.

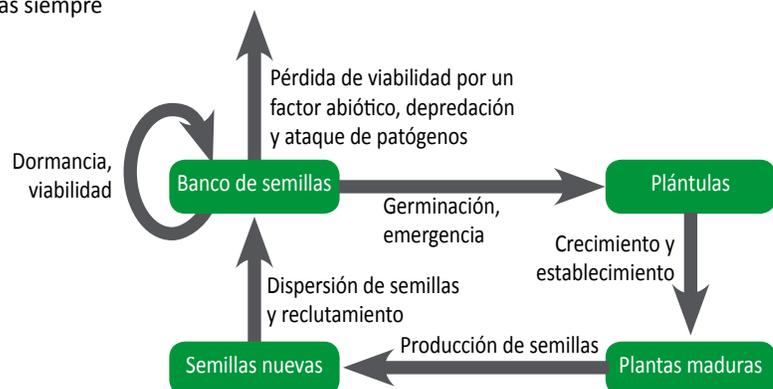


Figura 1. Representación conceptual simplificada de las transiciones entre los estados de malezas.

2. Influencia de los principios de la agricultura de conservación sobre la dinámica poblacional y comunidades de malezas

2.1 Efecto de la práctica de labranza

La perturbación mínima del suelo incluye una gama de regímenes de labranza y su definición exacta por lo general es específica al contexto. Nos referimos a cualquier práctica en la que toda la superficie del suelo es perturbada al menos una vez durante la temporada de crecimiento como labranza convencional. Se hace la diferenciación entre sistemas sin perturbación del suelo (cero labranza) y labranza mínima o reducida según sea el caso.

2.1.1 Efecto de labranza en el banco de semillas de malezas

Es difícil estudiar el efecto de labranza sobre el tamaño del banco de semillas de maleza debido a que el estado y distribución inicial de las semillas de maleza en el suelo determinará en gran medida cómo el banco de semillas responde a la labranza. Independientemente de las condiciones iniciales del banco de semillas, la labranza redistribuirá las semillas en todo el suelo hasta la profundidad de labranza. Si no se labra el suelo, 60-90 % de las semillas se acumularán en o cerca de la superficie. Se ha observado que los regímenes de labranza comunes tienen patrones generalizados de distribuciones de las semillas (figura 2). La ubicación de la semilla en el perfil del suelo es importante debido a que afecta la viabilidad, depredación y germinación del banco de semillas de malezas (véase la figura 1).

Las semillas sobre la superficie del suelo son mucho más susceptibles a la depredación y en ambientes secos o fríos también son propensas a la pérdida de viabilidad. Las semillas

enterradas son protegidas de los ambientes extremos y son inaccesibles para los depredadores. La reducción de la labranza favorece de manera indirecta la actividad de los depredadores al minimizar la perturbación del hábitat. Por lo tanto, las semillas en suelos con cero labranza tienen una mayor probabilidad de morir (a través de una pérdida de viabilidad o depredación) en comparación con aquellas en suelos con labranza.

Muchas semillas de malezas requieren luz y grandes fluctuaciones de la temperatura para germinar. El acto físico de la labranza puede proporcionar destellos luminosos y promover mayores oscilaciones diurnas de temperatura debido a que seca el suelo y, por lo tanto, promueve la germinación. Sin embargo, tanto en suelos labrados como en suelos con cero labranza, estos estímulos son mayores cerca de la superficie. Una vez más, debido a la concentración de semillas cerca de la superficie en suelos con cero labranza, es probable que una mayor proporción de semillas germine. La promoción de la germinación de las semillas de malezas seguida de la supresión inmediata es un método efectivo para reducir rápidamente el tamaño del banco de semillas de malezas.

Los suelos labrados ofrecen menos resistencia a la penetración de raíces y plántulas. Por lo tanto, a una profundidad determinada, una semilla de maleza tendrá más probabilidad de emerger si el suelo está labrado (figura 3).

Los estudios sugieren que la mayor proporción de semillas de maleza germinadas en suelos con cero labranza compensa la emergencia reducida y la mayor pérdida de viabilidad. Esto significa que después de un historial de labranza, el primer año de un suelo con cero labranza presentará más emergencia de malezas. Sin embargo, suponiendo que las malezas sean controladas y no se agreguen nuevas semillas al sistema, el número de malezas emergidas disminuirá más rápidamente en cero labranza en comparación con suelos que siguen siendo labrados (figura 4).

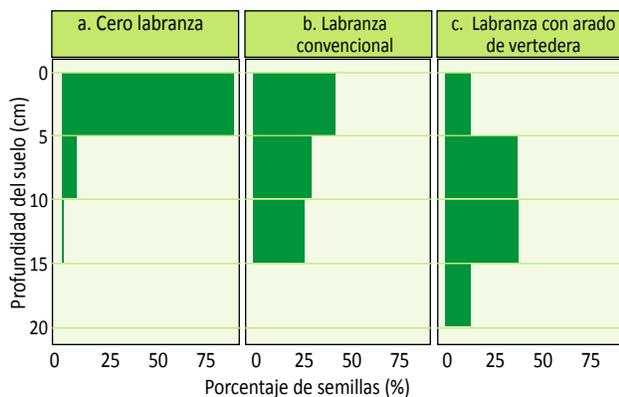


Figura 2. Distribución teórica de las semillas un año después de la deposición de semillas en a- cero labranza; b- labranza convencional (rotatoria o con cincel) a una profundidad de 15 cm; c- labranza con arado de vertedera a una profundidad de 20 cm.

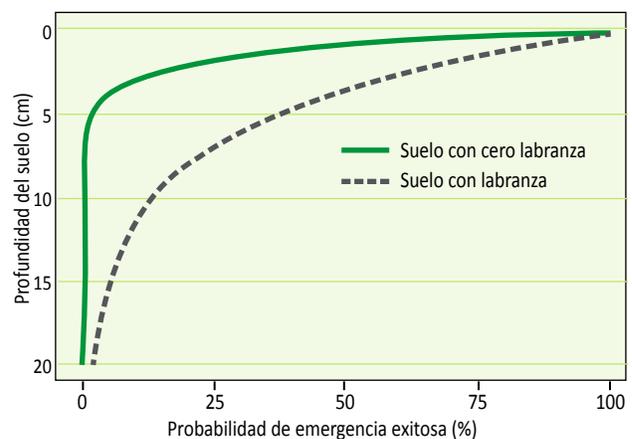


Figura 3. La probabilidad de emergencia exitosa de las plántulas es mayor en todas las profundidades en suelos labrados.

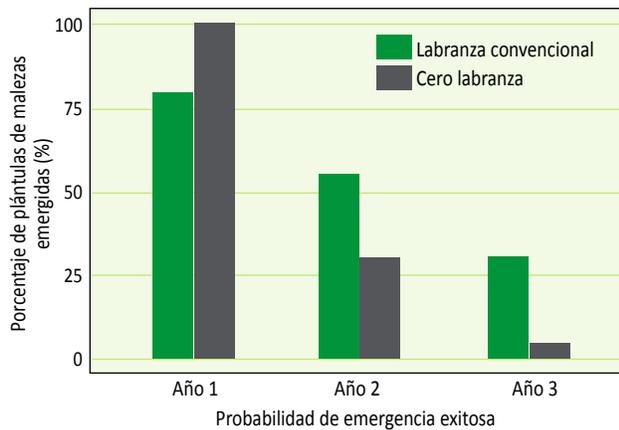


Figura 4. Efecto teórico de la labranza sobre el número de plántulas de malezas emergidas (expresado como porcentaje del mayor número de malezas emergidas observado) en el tiempo suponiendo que no hay deposición de semillas.

2.1.2 Efecto de labranza sobre el crecimiento, maduración y producción de semillas de las plántulas de malezas

La completa eliminación de la producción y reclutamiento de semillas puede ser poco realista. Una vez que la maleza emerge, el sistema de cero labranza depende de herbicidas, deshierbado manual o paso de maquinaria en campo para matar malezas. Algunos sistemas, tales como las camas permanentes, pueden suprimir malezas emergidas durante la reformatión de las camas. A pesar de los problemas potenciales en controlar malezas emergidas, muchos investigadores han demostrado que si las malezas emergidas son controladas de manera adecuada en cero labranza, la presión de malezas puede reducirse de manera significativa en los primeros tres años después de la adopción de cero labranza. Sin embargo, los investigadores también han observado que otros factores del manejo pueden mejorar o incluso revertir estos resultados, lo que significa que cero labranza puede ser un método efectivo de control de malezas, pero solo cuando se usa en conjunto con otras prácticas; se trata este tema con mayor detalle en la sección *Interacciones*.

Si las malezas producen semillas, se ha observado que las operaciones de labranza incrementan la dispersión de las semillas de malezas dentro de un campo, aún más que cualquier otra actividad. Por lo tanto, la reducción o eliminación de pasos de labranza puede mantener las infestaciones de malezas localizadas.

2.1.3 Efecto de labranza sobre la comunidad de malezas

El cambio en las prácticas de labranza altera los patrones de perturbación del campo. Se puede esperar que esto cambie la comunidad de malezas. Los cambios en la comunidad dependerán tanto de la localización como de la climatología,

pero la teoría general de la sucesión ecológica predice que los suelos muy perturbados (aquellos que son labrados de manera regular) favorecerán a malezas de hoja ancha anuales, mientras que cero labranza favorecerá a malezas que pueden germinar exitosamente sobre la superficie del suelo (tales como los pastos anuales). Si están rodeados por pastizales o caminos, los campos con cero labranza podrán aceptar malezas de estas fuentes debido a la similitud en las condiciones del suelo. Dependiendo de la rotación de cultivos, las plantas voluntarias pueden convertirse en un problema en cero labranza. Las malezas perennes tienen corto tiempo en sus ciclos de vida cuando son sensibles a las actividades del campo. Si la cronología de las actividades de manejo no cambia de manera significativa de año a año, las malezas perennes con ciclos de vida que se complementen con los programas de la perturbación pueden convertirse en un serio problema. La reducción de labranza amplifica la selección de malezas que tienen ciclos de vida similares a los del cultivo; por lo tanto, la cero labranza puede empeorar la simplificación de malezas observada en los monocultivos (se trató en la sección 2.3).

2.2 Efecto de los residuos de cultivo

Los residuos de cultivo que son retenidos en el campo y se incorporan por medio de labranza pueden afectar la dinámica de las malezas, pero el efecto dependerá de las características del residuo, tipo de labranza y podría ser único para cada sistema. Los residuos de cultivo dejados sobre la superficie del suelo tienen un efecto más predecible sobre las poblaciones de malezas y, por lo tanto, son más importantes cuando se considera el manejo de malezas.

2.2.1 Efecto de los residuos de cultivo sobre el banco de semillas de malezas

Los residuos en la superficie pueden afectar de manera directa la germinación de las semillas de malezas y su emergencia por medio de cambios físicos y químicos en el ambiente del suelo. Físicamente, los residuos en la superficie:

- Restringen la penetración de la luz.
- Reducen las temperaturas máximas diarias del suelo.
- Mantienen humedad en el suelo.

En la mayoría de las condiciones, suficiente luz penetra los residuos en la superficie para lograr germinar la mayoría de las semillas. Los efectos de menores temperaturas promedio y una mayor humedad del suelo dependen de la ubicación. En ambientes con carencia de agua, los residuos reducen la sequedad de la superficie; esto protege a las semillas de la desecación y proporciona suficiente humedad en el suelo para promover la germinación. En ambientes sin carencia de agua, el incremento en la humedad bajo los residuos puede promover la descomposición de las semillas. En áreas templadas donde la germinación depende del calentamiento del suelo, al reducir la temperatura del suelo bajo los residuos puede retardar la emergencia tanto del cultivo como de malezas.

Ciertos tipos de residuos en la superficie pueden liberar compuestos químicos que inhiben la germinación y emergencia de semillas pequeñas (conocido como alelopatía). Cuando el cultivo tiene semillas grandes y las malezas dominantes tienen semillas pequeñas, la alelopatía puede inhibir el establecimiento de malezas. La efectividad y duración de la alelopatía depende de factores ambientales y, por lo tanto, no es una herramienta precisa, pero puede complementar otro control de malezas.

Los residuos en la superficie pueden favorecer de manera indirecta el consumo de semillas al proporcionar un hábitat para alimentación y anidación para los depredadores pero también pueden restringir su movilidad.

2.2.2 Efecto de los residuos de cultivo sobre el crecimiento, maduración y producción de semillas de las plántulas de malezas

Aunque la menor cantidad de luz bajo los residuos no afecta la germinación de las semillas, afectará de manera significativa el establecimiento de las plántulas. Conforme las semillas germinadas buscan la luz agotan sus reservas de energía y se vuelven etioladas, débiles y más susceptibles a ciertos tipos de daños por herbicidas. Adicionalmente, los residuos proporcionan una barrera física a las malezas emergentes. El ambiente con poca luz y la resistencia física que las plántulas experimentan bajo los residuos tendrá un efecto más profundo sobre las malezas anuales y cultivos de semilla pequeña, ya que inicialmente son más dependientes de la luz en comparación con las especies perennes y con semillas grandes.

La proporción de semillas germinadas exitosamente disminuye con el aumento en la cantidad de residuos. La cantidad de residuos necesaria para cubrir 100 % del suelo proporciona un valor útil para determinar qué tanto residuo se necesita para reducir la emergencia de malezas. Esta cantidad depende del tipo de residuo, siendo los cultivos con grano pequeño los que requieren menos (2-8 Mg ha⁻¹) y los cultivos con grano grande más (6-17 Mg ha⁻¹).

Aunque los residuos del cultivo interceptan los herbicidas, algunos estudios han mostrado que la supresión de malezas generada por los residuos en la superficie compensa más la reducción del contacto del herbicida con las malezas.

Los residuos de cultivos pueden reducir indirectamente la producción de semillas de malezas, limitando el crecimiento (a través de la intercepción de luz, barreras físicas y alelopatía). Plantas de malezas pequeñas producen menos semillas, es decir, los residuos pueden reducir la entrada de semillas.

Un criterio usado con frecuencia para definir sistemas de agricultura de conservación es que al menos 30 % de la tierra esté cubierta de forma continua; aunque esta cantidad de residuos puede proporcionar beneficios a la calidad del suelo, pudiera no reducir de manera significativa la emergencia de malezas.

2.2.3 Efecto de los residuos de cultivo sobre la comunidad de malezas

Los residuos atrapan a las semillas de malezas dispersadas por el viento, lo que lleva a mayores densidades de estas malezas en los sistemas que retienen los residuos en la superficie en comparación con los sistemas que dejan la tierra desnuda gran parte de la temporada.

2.3 Efecto de la rotación de cultivos

Se puede decir que las rotaciones de cultivos son la forma más efectiva de controlar malezas. Cada cultivo aplica un conjunto único de limitaciones bióticas y abióticas sobre la comunidad de malezas; esto promoverá el crecimiento de algunas malezas a la vez que inhibirá el de otras. En este sentido, cualquier cultivo dado puede ser considerado como un filtro, solo permitiendo que ciertas malezas pasen a través de su régimen de manejo. La rotación de cultivos rotará las presiones de selección, previniendo que una maleza sea repetidamente exitosa y, por lo tanto, prevenir su establecimiento.

Las rotaciones alteran las presiones de selección por medio de tres mecanismos principales:

- Alterando los manejos (por ejemplo, cronología de las actividades del campo, herbicidas).
- Variación en los patrones de competencia por recursos.
- Alelopatía.

No todas las rotaciones utilizan los tres mecanismos. Las limitaciones ambientales, de mercado y equipo pueden restringir las opciones de rotación (por ejemplo, a una sola temporada o familia de cultivos). Los cambios en la cronología del manejo parecen explicar el gran porcentaje de control de malezas con la rotación. Por lo tanto, cuando las opciones de rotación son limitadas, la rotación entre variedades con maduración temprana y tardía puede ayudar a controlar las infestaciones de las especies de malezas que tienen hábitos de crecimiento complementarios a un cultivo dado. El ajuste en las fechas de siembra con tan poco tiempo como dos semanas puede alterar de manera significativa la dinámica de malezas, lo cual se trata con mayor detalle en la sección de *Prácticas culturales adicionales*. Donde diseñando el control de malezas con rotación, podemos incluir unos principios básicos:

- Alternando la germinación de cultivos de otoño y primavera, donde las condiciones lo permitan
- Alternando entre cultivos anuales y perenes
- Alternando familias de cultivos

Un nuevo programa para sistemas de rotación que utilizan herbicidas es el de 'rotaciones apiladas' en el cual se mantienen los cultivos por dos años consecutivos antes de la rotación. Por ejemplo, en un sistema con 3 cultivos en un ciclo de rotación a 6 años (2 años por cultivo), las malezas son forzadas a través de la presión de selección de un cultivo por dos años, seguida por un descanso de cuatro años. Este es un diseño nuevo y solo ha sido probado en cero labranza en las Grandes Llanuras de los Estados Unidos, pero en ese ambiente

las rotaciones apiladas ofrecen un control de malezas superior en comparación con las rotaciones anuales. Los modelos sugieren que esto se puede deber a un incremento en la competencia entre malezas, pero se requiere más investigación. La investigación preliminar indica que las rotaciones apiladas son un nuevo diseño de rotación prometedor muy adaptado a las condiciones de cero labranza.

2.3.1 Efecto de la rotación de cultivos sobre el banco de semillas de malezas

Cada cultivo está asociado con un diferente conjunto de manejos que crea una variabilidad tanto espacial como temporal en la disponibilidad de nutrientes, agua y luz. La variabilidad de estos recursos afectará dónde y cuándo el suelo es favorable para la germinación de las semillas. Como ejemplo, en un ambiente con carencia de agua, un cultivo que se irrigue en primavera promoverá la germinación de las semillas de malezas de primavera, mientras que un cultivo que se irrigue en otoño promoverá la germinación de malezas de otoño.

Los cultivos con diferentes temporadas de crecimiento o patrones de crecimiento también alteran el ambiente de la luz del suelo. La luz filtrada por el follaje puede inhibir la germinación de diversas especies de malezas. Una de las ventajas de incluir una fase perenne en una rotación es esta inhibición; la producción de semillas de malezas de plantas adultas es casi eliminada mientras que la mortalidad de semillas por medio de la depredación y pérdida de viabilidad continúa.

Como los residuos, las raíces tanto vivas como en descomposición pueden liberar compuestos alelopáticos que inhiben la germinación. Por lo tanto, la incorporación de cultivos alelopáticos puede reducir la germinación de las semillas de malezas independientemente de la retención de residuos, pero una vez más los resultados pueden ser impredecibles. Actualmente, los investigadores están tratando de hacer mejoramiento de ciertos cultivos (tales como el arroz y el trigo) para producir más compuestos alelopáticos, lo cual podría generar beneficios más uniformes con respecto a un control de malezas alelopático.

Es difícil estudiar el efecto de la rotación de cultivos sobre la depredación, pero hay indicios de que la depredación de semillas está ligado al ciclo del cultivo. Estos estudios sugieren que la rotación de cultivos con temporadas de crecimiento variadas favorecerá la depredación de diferentes semillas en momentos diferentes, posiblemente incrementando la diversidad de semillas consumidas.

2.3.2 Efecto de la rotación de cultivos sobre el crecimiento, maduración y producción de semillas de las plántulas de malezas

La prevención del establecimiento de semillas de malezas es probablemente uno de los mecanismos más poderosos del control de malezas que ofrecen las rotaciones. Las malezas que imitan el ciclo de vida de cultivo actual tienen una buena oportunidad de completar su ciclo de vida y producir semillas.

El crecimiento de malezas que está mal sincronizado con el cultivo presenta oportunidades únicas para el control de malezas: alterar el tiempo del crecimiento del cultivo permite la supresión de una comunidad variada de malezas, lo que previene que un particular tipo de malezas produzcan semillas de manera continua. Las malezas que crecen cuando no hay un cultivo presente pueden ser suprimidas usando herbicidas no selectivos y las malezas en su etapa vegetativa durante la cosecha son suprimidas antes de que produzcan semillas.

2.3.3 Efecto de la rotación de cultivos sobre la comunidad de malezas

La fecha de siembra del cultivo ha mostrado ser un factor de predicción efectivo de la comunidad de malezas. Esto enfatiza una vez más que se puede esperar que las rotaciones que incluyen cultivos con fechas de siembra diferentes cambien las comunidades de malezas, previniendo la simplificación de malezas y la presencia de solo unas pocas malezas dominantes. Aunque la reducción del número de especies de malezas presente puede simplificar la elección del herbicida, también incrementa la presión de la selección para malezas resistentes a herbicidas.

3. Interacciones entre los principios de la agricultura de conservación

3.1 Interacciones de las prácticas de la labranza con los residuos del cultivo

Se ha observado que cero labranza combinado con retiro de residuos genera una degradación grave en la calidad del suelo, pero hay pocos estudios que analicen el comportamiento de las malezas en este sistema. En general, parece que los residuos en la superficie y la cero labranza trabajan de manera cooperativa para suprimir malezas (figura 5), especialmente con respecto a la promoción de la depredación de semillas. Se ha observado que cero labranza con retención completa de los residuos incrementa la pérdida de semillas por depredadores en 2 a 3 veces en comparación con labranza convencional.

3.2 Interacciones de las prácticas de la labranza con la rotación de cultivos

La mayoría de los estudios mostraron que la rotación de cultivos reduce las densidades de malezas en comparación con los monocultivos independientemente del régimen de labranza. En una rotación de cultivos dada, no queda claro si la cero labranza o la labranza convencional proporcionan un mejor control de malezas. Un número abrumador de estudios muestra que cero labranza usada en monocultivos genera graves problemas de malezas. La mayoría de los estudios sugieren que considerando el manejo de malezas, la cero labranza solo debe adoptarse en sistemas que usan mínimo dos cultivos y de preferencia tres. Incluso en ambientes donde se siembran dos o más cultivos cada año, la alternación anual del patrón de cultivos en cero labranza es crucial para el control de malezas.

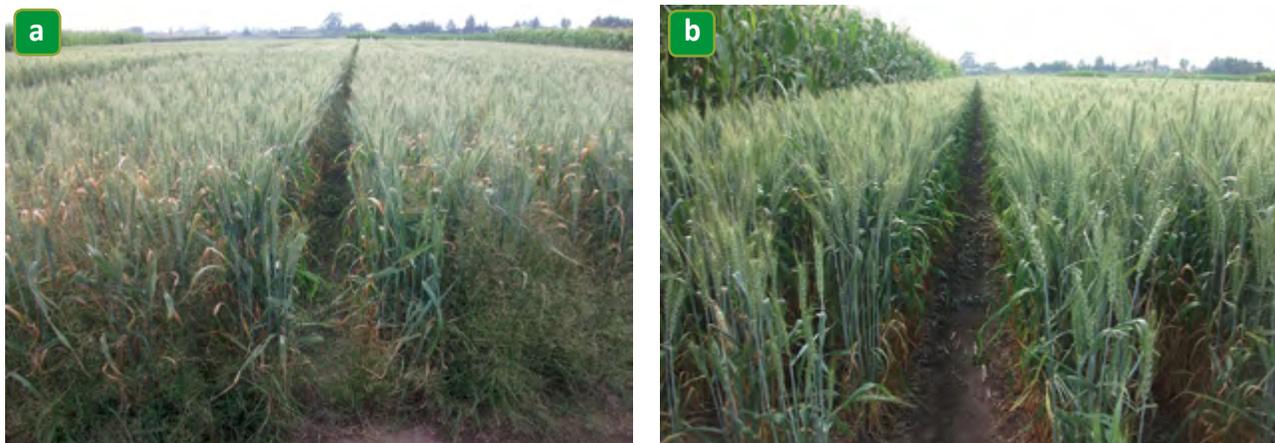


Figura 5. Parcelas de investigación del CIMMYT en el centro de México. a- La fase de trigo de una rotación de trigo-maíz crecida en camas con labranza convencional sufre de infestaciones de *Eragrostis mexicana*. b- La fase de trigo de la rotación de trigo-maíz crecida en camas permanentes con retención de residuos con una infestación mínima de *E. mexicana*

Las secuencias del cultivo interactúan con la práctica de la labranza para crear distintas comunidades de malezas, encontrándose las comunidades de malezas más diversas en cero labranza con rotación larga. Si en los campos con cero labranza se presentan problemas con malezas perennes, los estudios han mostrado que el uso de un cultivo con una temporada de crecimiento diferente o hábito de crecimiento (anual contra perenne) por solo un año puede ayudar a combatir su establecimiento a largo plazo.

4. Prácticas culturales adicionales para el control de malezas en la agricultura de conservación

Al no utilizar labranza, los sistemas de agricultura de conservación dependen en gran medida de prácticas agronómicas para el control de malezas. Aquí tratamos brevemente las tácticas que pueden ofrecer a los productores que adopten la agricultura de conservación como opciones adicionales para el control de malezas, con un énfasis en el aumento de la competitividad del cultivo contra malezas.

4.1 Fecha de plantación ajustada

Debido a los procesos de dormancia, muchas malezas germinan durante temporadas específicas. Si se conoce la fecha de emergencia aproximada para malezas problemáticas, se pueden ajustar las fechas de siembra del cultivo para que sean antes o después de los grandes brotes de malezas.

- siembra temprana de tal manera que la emergencia del cultivo se presente antes que las malezas para tener una ventaja competitiva.

La siembra temprana incluso unos pocos días antes puede proporcionarle al cultivo una ventaja significativa sobre las malezas. La potencial supresión de malezas que ofrece una

siembra temprana se demuestra con el caso de *Phalaris minor*, una especie de maleza que drásticamente reduce los rendimientos del trigo en sistemas de arroz-trigo en el área del Indo y el Ganges. La adopción de cero labranza permitió que se sembraran cultivos de trigo de 1 a 2 semanas antes, permitiendo que el cultivo se estableciera antes de la emergencia de malezas. Aunque el cambio en la labranza y manejo de los residuos pudo haber contribuido con una emergencia reducida de malezas, la fecha de siembra temprana tuvo un papel importante.

- Se permite que las malezas germinen y se destruyen antes o durante la siembra del cultivo.

Retrasar la siembra puede ser más riesgoso, especialmente en zonas templadas. Los modelos y los datos de campo por lo general muestran que a menos que las infestaciones de malezas sean graves, la siembra tardía para acomodar el control de malezas temprano en la temporada es contraproducente con respecto al rendimiento.

4.2 Incremento de la densidad del cultivo

El incremento en la densidad del cultivo aumenta la proporción de recursos utilizados por el cultivo en comparación con las malezas, y puede ser deseable. Las recomendaciones de densidad de siembra se basan en ambientes de investigación sin malezas, donde la biomasa del cultivo se incrementa rápidamente y posteriormente se establece con mayores densidades de siembra. En presencia de competencia de malezas, tanto los modelos como los datos de campo sugieren que la relación empieza a ser más lineal, siendo mayor el beneficio de un aumento en la densidad de la siembra cuando las densidades de malezas son mayores. Aunque la meta de incrementar la densidad del cultivo es aumentar la biomasa del cultivo, esto no siempre da como resultado rendimientos significativamente mayores. Sin embargo, en estudios realizados en ambientes con suficiente agua y nutrientes, el uso de densidades de cultivo mayores

de 150 plantas por m² en trigo (Lemerle *et al.*, 2004), 4 plantas por m² en maíz (Tollenaar *et al.*, 1994) y 100 plantas por m² en arroz (Zhao *et al.*, 2007) han demostrado reducir las densidades de malezas e incrementar los rendimientos. Se deberán evaluar las ventajas del control de malezas y el rendimiento en comparación con el costo elevado de la semilla, pero el aumento en las densidades del cultivo puede ser una herramienta útil en el control de malezas.

4.3 Arreglo espacial

Los investigadores han usado modelos para predecir matemáticamente los arreglos de las plantas que mejor supriman el crecimiento de malezas. Estos modelos muestran (figura 6):

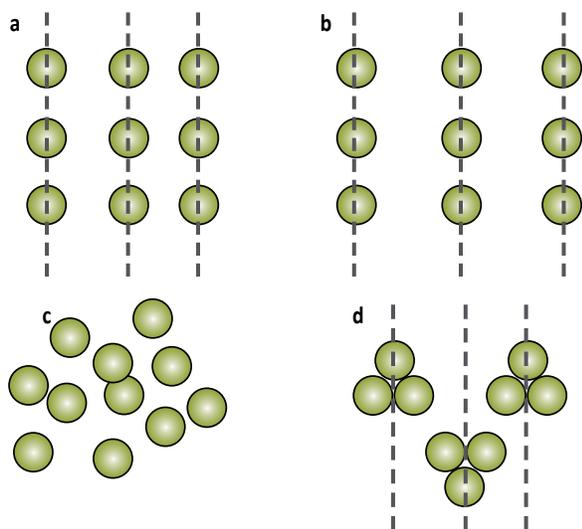


Figura 6. Los modelos sugieren que el espacio ocupado por las malezas es a- minimizado en un patrón de siembra uniforme; b- intermedio cuando el espacio entre hileras es mayor que el espacio dentro de las filas; c- intermedio en siembra aleatoria; d- mayor en la siembra en grupos.

- El espacio ocupado por malezas disminuye conforme la distancia entre hileras se acerca a la distancia entre plantas dentro de la hilera, es decir, cuando se maximiza la uniformidad del arreglo.
- La siembra aleatoria duplica la proporción del espacio de malezas a cultivo en comparación con la siembra uniforme.
- La siembra en grupos es el peor diseño, ya que permite a las malezas ocupar una gran cantidad de espacio.

En la práctica, la mayoría de los estudios confirman que la reducción en el espacio del cultivo reduce malezas, aunque no necesariamente incrementa los rendimientos. La efectividad de reducir los espacios de la fila sobre el control de malezas depende de varios otros factores, incluidas las limitaciones del agua, colocación de nutrientes, proporción de altura entre cultivo y malezas, y tiempo del cultivo contra la emergencia de

malezas. Sin embargo, varios estudios recientes han mostrado que un incremento en la uniformidad puede trabajar de manera cooperativa con un aumento en la densidad del cultivo para reducir de manera significativa la biomasa de malezas y lograr rendimientos en una variedad de cultivos. Para algunos productores, el espaciado de las hileras está determinado por las medidas de las llantas del tractor; para la producción no mecanizada podría ser posible adaptar un espaciado de hileras más cercano.

La orientación direccional de los cultivos en hilera puede incrementar la cantidad de luz capturada por el cultivo y, por lo tanto, limitar la cantidad de luz disponible para el crecimiento de malezas. Cuando es factible, la orientación norte-sur de las hileras del cultivo es deseable en la mayoría de las latitudes.

4.4 Manejo de los recursos

4.4.1 Fertilizante

En general, las malezas tienen una absorción de nutrientes más dinámica en comparación con los cultivos. Por lo tanto, es deseable la alteración de los tiempos, colocación y fuente para proporcionar de manera preferente al cultivo con un mejor acceso a los nutrientes. En suelos con bajos niveles de fertilidad, la aplicación en bandas de fertilizantes puede reducir la biomasa de malezas en comparación con la aplicación al voleo, siendo la aplicación en bandas profundas más efectiva que la aplicación en bandas superficiales. La fuente del fertilizante también puede favorecer ciertas malezas y, por lo tanto, ofrecer una oportunidad para variar las composiciones de malezas y dejar fuera las malezas problema.

4.4.2 Agua

En ambientes irrigados, la variación espacial de la humedad del suelo ofrece oportunidades para el control de malezas. Cuando la capa superior del suelo está seca, la siembra de cultivos con semilla grande en las capas profundas del suelo con humedad puede dar a los cultivos una ventaja inicial sobre las malezas. Un sistema similar es la siembra en húmedo, donde se da un riego previo a la siembra, le sigue el control de malezas y la siembra del cultivo un par de semanas más tarde. El tipo de riego usado también puede cambiar la ubicación de malezas así como las densidades.

4.4.3 Variedades

Muchas variedades son seleccionadas para condiciones sin malezas, pero se ha observado que ciertas variedades de cultivo son más competitivas con las malezas que otras. El papel de las variedades específicas de la agricultura de conservación para el control de malezas es un área activa de investigación, y si tiene éxito, puede ofrecer una valiosa herramienta a los productores que practican la agricultura de conservación. El diseño de programas de mejoramiento para seleccionar la capacidad competitiva en la agricultura de conservación es un reto debido a la complejidad de las características y gran variación entre la ubicación y el año, pero el desarrollo de tales variedades sería muy benéfico.

4.4.4 Control microbiano de malezas

La microbiota ofrece un enorme recurso, en gran parte sin explorar para el control biológico de malezas. Cientos de microorganismos han mostrado potencial para el control biológico incluyendo bacterias, hongos y actinomicetos. Los microorganismos que inhiben el crecimiento de muchas malezas agrícolas comunes han sido identificados y el desarrollo comercial está en marcha (Stubbs and Kennedy, 2012). Aunque todavía se está investigando el método óptimo de aplicación de estos controles biológicos, no requiere labranza y se prevé que sea de bajo costo; por lo tanto, la aplicación de controles biológicos microbianos puede representar un método prometedor para complementar el manejo de malezas en agricultura de conservación.

4.4.5 Prevención e introducción de semillas de malezas

Semillas de malezas se pueden importar directamente en campos agrícolas a través de abonos, semillas de cultivos y en agua de riego. La obtención de semillas de cultivo limpias, tamizar los contaminados y filtrar el agua de riego son herramientas simples pero efectivas para reducir este tipo de reclutamiento de malezas. Varios estudios han mostrado que al utilizar un colector y removedor de semillas de malezas a través de la cosechadora puede ser eficaz en la eliminación de nuevas semillas de malezas en el campo.

5. General

Muchos métodos de control de malezas no son efectivos cuando se usan solos, pero cuando se usan en conjunto pueden interactuar para reducir malezas de manera acumulativa. Varios estudios han mostrado los beneficios sinérgicos del uso de diversos métodos en conjunto. El uso de numerosos métodos asegura resultados aunque un método falle, y proporciona un sistema de control de malezas respaldado que será efectivo en ambientes cambiantes e impredecibles.

Una de las principales críticas a la agricultura de conservación es su elevada dependencia a los herbicidas en comparación con los sistemas con labranza. En particular, se puede usar una gran cantidad de glifosato, especialmente para controlar malezas perennes. A pesar de estos asuntos, no conocemos alguna comparación directa del uso de herbicidas en la agricultura de conservación y los sistemas manejados de manera convencional. En Canadá, la adopción de cero labranza no ha incrementado el uso de herbicidas de manera significativa, y en las Grandes Llanuras de EE. UU. los cultivos con cero labranza de trigo han controlado malezas usando tácticas culturales y han reducido el uso de herbicidas en 50 % en comparación con labranza convencional. Adicionalmente, en muchas áreas enfocadas en la agricultura de conservación, los herbicidas no están disponibles o tienen precios inaccesibles, por lo

que el control de malezas debe realizarse por otros medios. Independientemente, un mayor uso de herbicidas puede llevar a una resistencia a herbicidas y graves problemas de salud; el uso de diferentes herbicidas y con las dosis recomendadas es crucial para evitar el desarrollo de malezas tolerantes a los herbicidas y los elevados riesgos a la salud.

6. Transición

Puede llevar de 4 a 10 años a que el rendimiento, las características del suelo y las poblaciones de malezas alcancen un equilibrio después de la transición a la agricultura de conservación, pero el manejo de malezas durante este periodo es crucial. En muchas partes del mundo la agricultura de conservación es adoptada en partes o paso a paso, con frecuencia empezando con una labranza reducida. Este proceso de adopción puede hacer que el control de malezas sea todavía más desafiante, ya que no saca ventaja de los efectos sinérgicos del uso combinado de los tres principios.

La puesta en práctica de un sistema de cero labranza será más exitosa en sistemas que también pongan en práctica la rotación de cultivos y la retención de residuos. Incluso si los productores no quieren incorporar los tres principios de la agricultura de conservación a largo plazo, el uso de la rotación de cultivos y la retención de residuos durante un periodo de transición será benéfico en el control de malezas a largo plazo con un sistema de cero labranza.

Se puede esperar que sea necesaria una mayor cantidad de herbicida o deshierbe manual en los primeros años de la transición. Debido a que muchos programas de agricultura de conservación inician el año cero con un régimen intensivo de labranza-nivelación, los productores pueden sacar ventaja de la superficie del suelo sin residuos durante el año cero usando un herbicida de amplio espectro para matar las plántulas de malezas antes de la emergencia del cultivo, reduciendo el banco de semillas de malezas en la superficie en la primera temporada. El gran número inicial de malezas inmediatamente después de la transición a la agricultura de conservación no debe desalentar, ya que puede ser un fenómeno transitorio. Con un control vigilante de la producción de semillas, se espera una reducción drástica en el número de semillas viables de malezas en el suelo dentro de un periodo de 1-4 años.

7. Conclusión

Los principios de la agricultura de conservación, particularmente la rotación de cultivos y la retención de residuos en la superficie, son en sí mismos métodos de control de malezas. El uso combinado de los tres principios puede ofrecer beneficios sinérgicos, y es más probable que se

presente problemas con malezas si solo se usa un principio de agricultura de conservación. Con respecto al control de malezas, nunca debe ponerse en práctica la cero labranza en monocultivos y viceversa. Adicionalmente el control de malezas en sistemas de agricultura de conservación pueden incluir la selección de nuevas variedades más competitivas o fechas de siembra alternadas, ajuste de las densidades de siembra, distancia entre hileras y colocación del fertilizante, utilizando controles microbianos y la implementación de largas rotaciones (4+ años). Las variedades de cultivos creadas específicamente para el ambiente de la agricultura de conservación podrían ofrecer ventajas significativas.

Este material está basado en:

Nichols V, Verhulst N, Cox R, Govaerts B (2015) Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. *Field Crops Research* 183:56-68.

Agradecimientos

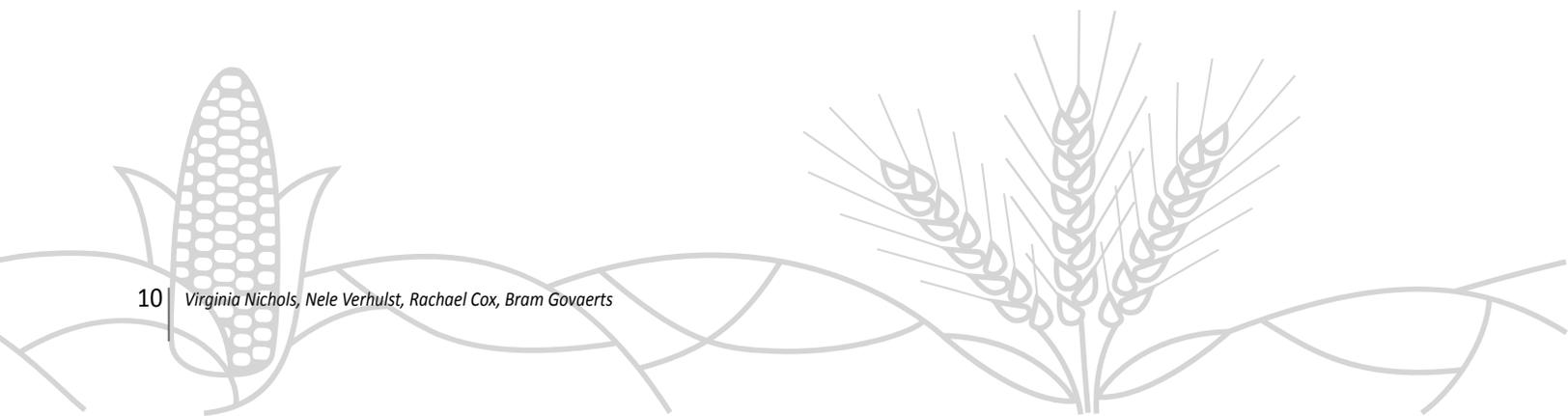
El desarrollo de este material recibió fondos a través de CIMMYT MasAgro Productor, con el apoyo de SAGARPA, y se llevó a cabo en colaboración con programas de investigación del CGIAR Maíz, Trigo.

Referencias

- Lemerle D, Cousens R, Gill GS, Peltzer S, Moerkerk M, Murphy C, Collins D, Cullis, BR (2004) Reliability of higher seeding rates of wheat for increased competitiveness with weeds in low rainfall environments. *The Journal of Agricultural Science* 142:395-409.
- Stubbs TL, Kennedy AC (2012) Microbial weed control and microbial herbicides. INTECH Open Access Publisher.
- Tollenaar M, Dibo A, Aguilera A, Weise S, Swanton C (1994) Effect of crop density on weed interference in maize. *Agronomy Journal* 86:591-595.
- Zhao D, Bastiaans L, Atlin G, Spiertz J (2007) Interaction of genotypex management on vegetative growth and weed suppression of aerobic rice. *Field Crops Research* 100:327-340.

Lecturas adicionales

- Anderson RL (2005) A multi-tactic approach to manage weed population dynamics in crop rotations. *Agronomy Journal* 97(6):1579-1583
- Chauhan BS, Singh RG, Mahajan G (2012) Ecology and management of weeds under conservation agriculture: a review. *Crop Protect* 38:57-65
- Liebman M, Mohler C, Staver C (2001) *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Cambridge CB2 2RU, UK







Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional

<http://masagro.mx>

Línea MasAgro: 01 800 46 27 247



CIMMYT^{MR}

International Maize and Wheat Improvement Center

www.cimmyt.org