

Herramientas y Prácticas de Labranza en los Sistemas de Agricultura Orgánica

Limitando el movimiento del suelo para conservar su salud en la agricultura orgánica

Introducción

El propósito de esta Guía es proporcionar a los planificadores de conservación y a otros miembros del personal de campo del NRCS información práctica y actualizada sobre las herramientas y los métodos de labranza utilizados en la producción de cultivos orgánicos. Se presentan estrategias que agricultores orgánicos innovadores han desarrollado para proteger la salud del suelo mientras mantienen un control satisfactorio de las malezas y buenos rendimientos de los cultivos, en el contexto de los criterios del Programa Nacional Orgánico (NOP) y del NRCS, e ilustradas mediante experiencias de productores.

Los agricultores orgánicos consideran que un suelo vivo y saludable es la base de una producción exitosa y de la administración responsable de los recursos naturales. Implementan múltiples prácticas que reflejan los cuatro principios del NRCS para el manejo de la salud del suelo: 1) mantener el suelo cubierto, 2) conservar raíces vivas, 3) promover la biodiversidad y 4) minimizar la perturbación del suelo.

Estas prácticas incluyen:

- Rotaciones diversificadas de cultivos y cultivos de cobertura para mantener el suelo cubierto, conservar raíces vivas y promover la biodiversidad subterránea.
- Enmiendas orgánicas de origen vegetal y animal para incrementar la materia orgánica del suelo (SOM), proporcionar alimento y hábitat para los organismos del suelo y reponer los nutrientes que requieren las plantas.
- Exclusión de fertilizantes, plaguicidas herbicidas y fungicidas sintéticos para minimizar la perturbación química de la vida del suelo.,

La producción orgánica de cultivos anuales sin el uso de herbicidas generalmente requiere el uso de labranza y cultivo mecánico para controlar las malezas. Sin embargo, estas prácticas pueden degradar la estructura del suelo, dañar las redes de hongos beneficiosos y otros organismos del suelo, como las lombrices de tierra, además de dejar el suelo más vulnerable a la erosión. Conscientes de estos riesgos, los agricultores orgánicos procuran implementar prácticas de labranza que sean favorables para el suelo, según lo exigen las Normas del Programa Nacional Orgánico (NOP) del USDA.

§ 205.203 Norma para el manejo de la fertilidad del suelo y de los nutrientes de los cultivos.

El productor debe seleccionar e implementar prácticas de labranza y cultivo que mantengan o mejoren la condición física, química y biológica del suelo y minimicen la erosión del suelo.

Los agricultores orgánicos e investigadores de todo Estados Unidos están desarrollando estrategias innovadoras, adaptadas a las condiciones regionales, para reducir la intensidad de la labranza, manejar las malezas con menor necesidad de cultivo y maximizar la duración de la cobertura vegetal viva en sus rotaciones de cultivos.

Esta Guía analiza la labranza en las fincas orgánicas dentro del contexto más amplio de la construcción y el mantenimiento de suelos saludables, e incluye experiencias de productores y avances recientes en sistemas prácticos de producción de cultivos orgánicos con labranza reducida.

La agricultura convencional altera los ecosistemas del suelo de diversas maneras. Además de la alteración física directa causada por la labranza y el cultivo, las operaciones que dejan el suelo expuesto someten a los organismos del suelo cercanos a la superficie a la desecación (secado), la radiación ultravioleta solar y temperaturas extremas, e incrementan el riesgo de erosión del suelo por lluvia y viento. Los períodos prolongados de barbecho sin cobertura vegetal viva interrumpen el flujo de exudados de las raíces de las plantas, eliminando así una fuente vital de alimento para la vida del suelo. Los monocultivos y las rotaciones de baja diversidad, como las de maíz-soya, limitan la diversidad de especies microbianas del suelo y su diversidad funcional. Finalmente, los pesticidas y fertilizantes solubles pueden alterar o perjudicar la biota del suelo (Ariena et al., 2015; Druille et al., 2013; Gunstone et al., 2021; Klein, 2019; Nicolas et al., 2016).



Los productores orgánicos con experiencia buscan limitar todas estas perturbaciones del suelo y compensar los efectos de la labranza mediante un conjunto de prácticas para la salud del suelo. Algunos ejemplos de prácticas de labranza utilizadas por los agricultores destacados en esta publicación incluyen:

- **Rotaciones continuas (sin períodos de barbecho) y diversificadas de cultivos.**
- **Cultivos de cobertura y cultivos de césped.**
- **Cultivos intercalados y siembra en relevo.**
- **Uso de compost y otras enmiendas orgánicas.**
- **Identificación de las necesidades de fertilidad de los cultivos y de la disponibilidad de nutrientes en los suelos para evitar excesos de nutrientes y escorrentía.**
- **Control del tránsito mediante labranza en franjas, caminos vivos y camas de cultivo permanentes o elevadas.**
- **Integración de cultivos y ganado mediante el pastoreo manejado de cultivos de cobertura o residuos posteriores a la cosecha.**

¿Cuándo y por qué labran los agricultores orgánicos?

Los agricultores de cultivos orgánicos utilizan la labranza y el cultivo con diversos propósitos.

Preparación del campo para las semillas:

Los cultivos sembrados directamente requieren un buen contacto entre la semilla y el suelo y estar libres de la competencia temprana de las malezas para establecerse exitosamente. Cuando no se utilizan herbicidas de pre-siembra, los agricultores generalmente preparan el lecho de siembra mediante labranza primaria y secundaria. Los cultivos de semillas pequeñas sembrados directamente, como las zanahorias o las verduras para ensalada, pueden requerir una pasada adicional para crear un lecho de siembra suficientemente fino.

Estimular la actividad microbiana para mineralizar los nutrientes de las plantas provenientes de materiales orgánicos:

Los agricultores orgánicos dependen de la

biología del suelo actividad para liberar nitrógeno (N) disponible para las plantas y otros nutrientes provenientes de la SOM, las enmiendas del suelo y los residuos vegetales. Puede ser necesaria cierta labranza para estimular una liberación biológica oportuna de nutrientes, especialmente en climas más fríos y suelos más pesados.

Mezclar las enmiendas y los residuos de cultivos en el suelo:

A diferencia de los fertilizantes solubles, que son transportados fácilmente hacia el perfil del suelo por la lluvia o el riego, la mayoría de las fuentes de nutrientes permitidas por el NOP, como el compost, la gallinaza peletizada o el fosfato de roca, tienen baja solubilidad y son más efectivas cuando se mezclan en las primeras pulgadas del suelo. Además, los beneficios como inóculo microbiano de las enmiendas vivas, como el compost o el humus de lombriz, pueden perderse si se dejan en la superficie y quedan expuestas directamente al sol. Por lo tanto, los agricultores orgánicos suelen aplicar estas enmiendas justo antes de la última labor de labranza para preparar el lecho de siembra.

Eliminar y controlar las malezas:

Las malezas siguen siendo el principal desafío en la producción de cultivos orgánicos (Snyder et al., 2022). Los agricultores orgánicos a menudo deben cultivar varias veces por temporada para mantener sus cultivos por delante de las malezas, y el manejo de problemas severos de malezas sin herbicidas puede implicar una labranza intensiva. Por ejemplo:

- Cuando el banco de semillas de malezas del suelo es grande, con frecuencia se utiliza un período de barbecho cultivado para estimular la germinación y destruir las malezas antes de la siembra del cultivo.
- Las infestaciones de malezas perennes invasoras requieren una labranza vigorosa seguida de cultivo para agotar las reservas subterráneas de las malezas (Mohler et al., 2021).
- Cuando ocurre una abundante "lluvia" de semillas de malezas, en ocasiones se realiza un arado de vertedera para enterrar las semillas de malezas a una profundidad desde la cual no puedan emerger. Tradicionalmente, los



cultivos de cobertura han sido arados e incorporados como abono verde para proporcionar fertilidad a los cultivos siguientes.

Finalizar los cultivos de cobertura y los cultivos de césped:

Actualmente, muchos agricultores orgánicos cortan los cultivos de cobertura anuales y los incorporan en las primeras pulgadas del suelo con herramientas que no invierten el suelo, aunque el arado de vertedera se utiliza para finalizar la fase de césped perenne de una rotación diversificada. Los cultivos de cobertura anuales maduros con alta biomasa pueden finalizarse con un rodillo-acondicionador (roller-crimper) para la siembra de cultivos sin labranza, pero este sistema orgánico de siembra directa requiere herramientas y habilidades especializadas, además de condiciones climáticas favorables para tener éxito.

Aliviar la compactación y el encostramiento, y mejorar la aireación y la infiltración de agua:

El uso de la labranza para mejorar la aireación y aliviar la compactación y el encostramiento puede tener efectos contrapuestos, ya que una labranza excesiva o inadecuada deja los suelos propensos a mayor compactación y sellado superficial, lo que restringe el intercambio de gases. Cuando se utilizan con cuidado y con niveles adecuados de humedad del suelo, implementos como la horquilla de doble mango (broadfork), el subsolador tipo para-plow o el arado de cincel de punta estrecha pueden mejorar la estructura del suelo, siempre que la labranza sea seguida rápidamente por la siembra de cultivos con raíces profundas y vigorosas.



Los impactos de las herramientas y métodos de labranza en la salud del suelo

La labranza convencional, practicada durante muchas décadas tanto por productores orgánicos como no orgánicos, incluye herramientas y métodos conocidos, como el arado de vertedera o de discos seguido de una rastra o disco ligero para cultivos extensivos, o una rotocultivadora para rotaciones de cultivos especializados a menor escala.

Se utilizan diversas herramientas de cultivo para eliminar las malezas de los cultivos en crecimiento, y un subsolador se utiliza para aliviar la compactación subsuperficial. Sin embargo, estos métodos conocidos tienen consecuencias:

- La inversión profunda altera la vida del suelo al enterrar el horizonte superficial con mayor actividad biológica.
- El uso de discos o la labranza rotativa pueden pulverizar los agregados del suelo.
- La labranza repetida a la misma profundidad crea una capa endurecida subsuperficial.
- La “labranza limpia” deja el suelo vulnerable a la erosión por viento y agua y al encostramiento superficial hasta que se restablece la cobertura vegetal.

Desde mediados del siglo XX, agricultores y conservacionistas han explorado formas de reducir la frecuencia e intensidad de la labranza. Aunque las investigaciones iniciales se enfocaron en sistemas de siembra directa que reemplazaban el acero por herbicidas, muchos agricultores orgánicos han cambiado hacia la labranza con cincel, superficial o en camellones, que causa menos daño a la vida del suelo que el arado profundo anual (Kuepper y Schahczenski, 2020; Sun et al., 2016; Zuber y Villamil, 2016).

Algunas herramientas y prácticas de labranza de menor impacto utilizadas por agricultores orgánicos incluyen:

- Disco de alta velocidad (velocidad del tractor de 7 a 12 mph) para cortar y mezclar residuos en las primeras 2 a 3 pulgadas del suelo.



A



B



C



D



E



F

Figura 1. Algunas herramientas que los agricultores orgánicos utilizan para reducir la intensidad de la perturbación del suelo mientras realizan el trabajo incluyen la labranza en franjas, que deja entre el 70 y 80 % de la superficie del suelo sin alterar (A, B); la rastra rotativa utilizada para trabajar las primeras 1 a 3 pulgadas del suelo (C); la cavadora alternativa para una labranza profunda sin compactación (D, E); y la horquilla de doble mango (broadfork), una herramienta manual utilizada en operaciones de pequeña escala para aflojar la parte superior de las camas de cultivo (F).

Y preparar un lecho de siembra. Es eficiente en tiempo y energía para superficies agrícolas más extensas.

- Implementos de labranza vertical para trabajar de manera superficial o hasta una profundidad de 8 pulgadas, cortando y mezclando residuos, y aireando el suelo sin inversión y con un desplazamiento lateral mínimo.
- Arado de cuchillas para cortar los cultivos de cobertura y las malezas justo debajo de la superficie, dejando los residuos sobre la superficie y la mayor parte del perfil del suelo sin alterar. Esta herramienta funciona mejor en regiones más secas.
- Labranza en franjas, por zonas o en camellones para limitar la perturbación del suelo a las hileras de cultivo donde se necesita el control de malezas y la mineralización de nutrientes (Figura 1 y 1b).
- Rastra rotativa (rastra accionada) para eliminar malezas pequeñas, preparar un lecho de siembra y mezclar en las primeras pulgadas del suelo enmiendas y residuos ligeros (Figura 1c).
- Máquinas cavadoras para una labranza profunda sin compactación, que pueden incorporar un cultivo de cobertura maduro y preparar el suelo para trasplantes o semillas grandes en una sola pasada (Figura 1d y 1e).



- Formadores de camas y aporcadores de discos para formar o reconstruir camas elevadas, concentrar las enmiendas del suelo en la “zona de crecimiento” y crear un lecho de siembra en una sola pasada.
- Horquilla de doble mango (broadfork) para aflojar y airear el suelo de 8 a 12 pulgadas sin invertir el perfil ni alterar los agregados (Figura 1F).
- Herramientas de cultivo de precisión vinculadas a sistemas de guiado óptico operados por computadora, diseñadas para lograr el mayor control de malezas con la menor perturbación del suelo.

Monitoreo de la Salud del Suelo

El Índice de Intensidad de Labranza del Suelo (STIR, por sus siglas en inglés) estima la perturbación física del suelo asociada con diversas operaciones de labranza y otras labores de campo, con valores basados en el tipo, el área, la profundidad y la intensidad de la perturbación del suelo. Algunos valores tomados de la base de datos actual del STIR se muestran en la Tabla 1.

El STIR total para un ciclo de cultivo se calcula sumando los valores de todas las operaciones de campo realizadas desde justo después de la cosecha del cultivo anterior hasta la cosecha del cultivo actual.

La USDA's Natural Resources Conservation Service (NRCS) ha definido varias Normas de Prácticas de Conservación (CPS, por sus siglas en inglés), y la determinación de los valores STIR es una forma de evaluar cómo las operaciones de campo podrían cumplir con los objetivos de salud del suelo.

Por ejemplo, los campos manejados sin labranza de ancho completo y con valores STIR de ciclo de cultivo de 20 o menos cumplen con los criterios de la CPS 329 Manejo de Residuos y Labranza – Sin Labranza. Los campos manejados únicamente con labranza de no inversión y con valores STIR de ciclo de cultivo de 80 o menos cumplen con los criterios de la CPS 345 Manejo de Residuos y Labranza – Labranza Reducida. Por ejemplo, la soja orgánica sembrada sin labranza en un cultivo de cobertura aplastado con rodillo, con los residuos de soja posteriores a la cosecha incorporados con disco, cumple con los criterios de la CPS 345:



El científico de suelos Guy Serbin (izquierda) y el especialista en teledetección Any Russ calibran un espectrorradiómetro portátil sobre un panel blanco antes de medir la reflectancia de los residuos de cultivos y suelos en un campo de maíz. Estas mediciones de reflectancia basadas en tierra se utilizan para desarrollar herramientas de teledetección para evaluar la intensidad de la labranza del suelo usando imágenes de satélite y de aeronaves. Foto de Peggy Greb.

Aplastar con rodillo el centeno (0.15) + sembradora de soja sin labranza con abridor de doble disco (2.43) + cosecha de soja (0.15) + disco tándem secundario con canasta rodante (41.03) + siembra del siguiente cultivo de cobertura con abridor de doble disco (2.44) = STIR total = 46.15.

Norma de Práctica de Conservación 345 del NRCS: Manejo de Residuos y Labranza Labranza Reducida

Definición: Manejar la cantidad, orientación y distribución de residuos de cultivos y de otras plantas en la superficie del suelo, limitando al mismo tiempo las actividades que perturban el suelo utilizadas para cultivar y cosechar en sistemas donde la superficie del campo se labra antes de la siembra

El Índice de Acondicionamiento del Suelo (SCI, por sus siglas en inglés) estima el impacto total de un sistema de cultivo sobre la acumulación o pérdida neta de materia orgánica del suelo (SOM) (USDA, NRCS, sin fecha).

El SCI se calcula como parte de la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE2) y se compone de tres factores :

1. Materia Orgánica (OM) contabiliza los materiales orgánicos devueltos al suelo, incluidos los residuos de cultivos, los cultivos de cobertura y las enmiendas orgánicas, menos las pérdidas esperadas por la descomposición de la SOM. Las estimaciones se basan en los rendimientos esperados de cada cultivo en la rotación y en los factores del sitio que regulan la descomposición de la SOM, como el clima, el tipo de suelo y la textura del suelo.

2. Operaciones de Campo (FO) contabiliza todas las operaciones de campo que afectan la tasa de descomposición de la SOM y se relaciona con el valor STIR promedio a lo largo de la rotación de cultivos.

3. Erosión (ER) contabiliza la pérdida de SOM por erosión laminar, en surcos y eólica, que se ve afectada por factores inherentes del suelo (erodabilidad), del sitio (topografía, pendiente) y del clima (intensidad de la lluvia), así como por las prácticas de manejo que afectan las tasas de erosión



TABLA 1. ÍNDICE ACTUAL DE INTENSIDAD DE LABRANZA DEL SUELO (STIR) PARA HERRAMIENTAS Y OPERACIONES DE CAMPO UTILIZADAS FRECUENTEMENTE EN SISTEMAS DE AGRICULTURA ORGÁNICA.

Labranza primaria	Arado de vertedera, 8 pulgadas de profundidad	65
	Arado de cincel, punta recta, hasta 7 pulgadas de profundidad	45.5
	Arado de discos, desplazamiento pesado o en tándem	39
	Arado de cincel, con rejas de bajo perfil de 12–16 pulgadas, 3–4 pulgadas de profundidad	25.02
	Azada rotativa (movimiento alternativo)	18.2
	Rotocultor, campo completo	18.2
	Paraplow (arado profundo), vástagos separados 30 pulgadas, <30% de la superficie alterada	17.55
	Arado de rejas anchas (arado de cuchillas), 20 a 40 pulgadas de ancho	9.75
Labranza secundaria	Discos en tándem, labranza secundaria con canasta niveladora	41.03
	Cultivador de campo, con azadón o punta de lanza	31.2
	Disco de acabado ligero	19.5
	Formador de camas con instalación de riego por goteo	19.5
	Rastra de dientes flexibles o dientes rígidos	15.6
	Rastra rotativa	10.24
Cultivo	Desmalezadora de varillas	17.06
	Azada rotativa	16.57
	Cultivador entre hileras, cresta de 1 pulgada	14.63
	Rotocultor para cultivo entre hileras	11.6
	Cultivador para residuos altos	8.13
	Cultivo manual con azada, campo completo	3.9
Siembra, aplicación de estiércol	Sembradora de papa	28.66
	Sembradora con subsolador en la hilera, cuchilla de labranza en franjas y rodillo	26.2
	Sembradora de surcos o sembradora neumática, abridores de cincel/azada	23.4

Esta tabla continua en la pagina siguiente.



Esta tabla es la continuación de la pagina anterior.

TABLA 1. ÍNDICE ACTUAL DE INTENSIDAD DE LABRANZA DEL SUELO (STIR) PARA HERRAMIENTAS Y OPERACIONES DE CAMPO UTILIZADAS FRECUENTEMENTE EN SISTEMAS DE AGRICULTURA ORGÁNICA.

Siembra, aplicación de estiércol	Sembradora de grano o al voleo, abridor de doble disco	6.34
	Inyector de estiércol, baja perturbación, espaciamiento de 15 pulgadas	4.68
	Sembradora de grano o al voleo, abridor de disco simple	2.44
	Sembradora, abridor de doble disco, cuchilla estriada	2.43
	Sembradora con subsolador en hilera, <10% de la superficie perturbada	2.34
	Sembradora al voleo con rodillo compactador	0.98
	Esparcir estiércol en la superficie	0.2
Cosecha y otras operaciones de campo	Cosecha de cultivos de raíz, mecánica, residuo dejado en la superficie	13.75
	Cosecha de cultivos de raíz, manual	4.16
	Aplicación de mulch plástico o barrera contra malezas	1.56
	Cosecha de cultivos aéreos sin perturbación de la raíz	0.15
	Triturado, siega, escarda con fuego (flameado)	0.15
	Rodillo, aplastar cultivo de cobertura	0.1

Tomado de la base de datos de junio de 2021 utilizada para RUSLE2 y SCI, y redondeado a la unidad de 0.01 más cercana. Los valores se actualizan anualmente con base en nuevos hallazgos de investigación y, por lo tanto, están sujetos a cambios

Una Perspectiva Más Amplia sobre la Perturbación del Suelo en Sistemas Orgánicos

Los agricultores orgánicos son líderes en prácticas de salud del suelo. Por ejemplo, tres de cada cuatro agricultores orgánicos del Cinturón del Maíz (Corn Belt) siembran cultivos de cobertura regularmente, en comparación con solo el 10% de los agricultores convencionales (Snyder et al., 2022).

Casi todos los agricultores orgánicos rotan cultivos, y muchos amplían la rotación tradicional de maíz-soya para incluir maíz, cobertura de invierno, soya, cereal de invierno sobresembrado con una leguminosa perenne o pastizal de leguminosa-gramínea, henificado o

pastoreado durante uno o más años antes de rotar de nuevo al maíz. Algunos productores orgánicos de hortalizas rotan sus campos hacia pastizal durante uno o más años para restaurar la salud del suelo y reducir la presión de malezas después de varios años de cultivo intensivo.

Así, si bien la agricultura orgánica implica más perturbación física del suelo que la siembra sin labranza con herbicidas para manejar las malezas y los cultivos de cobertura, la menor perturbación química y las prácticas mejoradas de salud del suelo pueden producir beneficios para la salud del suelo comparables a los de la agricultura de conservación sin labranza (Tabla 2).



TABLA 2. NIVELES DE PERTURBACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DEL SUELO Y PRÁCTICAS DE SALUD DEL SUELO EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CULTIVOS.

	PRÁCTICAS AGRÍCOLAS		
	Mejor manejo orgánico	Agricultura de conservación	Agricultura convencional
PERTURBACIÓN DEL SUELO			
Intensidad de labranza	De baja a moderada	Ninguna o mínima	De baja a alta
Barbecho sin sembrar	Mínimo	Mínimo	A menudo prolongado
Pesticidas, herbicidas	Baja*	Moderada	De moderada a alta
Nutrientes solubles	Baja*	Moderada**	De moderada a alta
PRÁCTICAS DE SALUD DEL SUELO			
Cobertura del suelo, raíz viva	La mayor parte del año	La mayor parte del año	A menudo inadecuada
Diversificación de cultivos	Sustancial	Sustancial	A menudo limitada
Enmiendas orgánicas	Usadas regularmente	Usadas con frecuencia	Sin uso o uso limitado

* Solo materiales permitidos por el NOP. La mayoría de las fuentes de nutrientes orgánicos son de baja solubilidad.

** NPK aplicado según los principios de las "4R" (fuente correcta, dosis correcta, momento correcto y lugar correcto), sin exceder las recomendaciones de la Universidad con Concesión de Tierras (LGU).

Cultivo orgánico sin labranza

Un número creciente de agricultores orgánicos termina algunos cultivos de cobertura sin labranza mediante el aplastado con rodillo, la siega con desbrozadora de mayales, o la siembra de cultivos de cobertura que morirán con el invierno (winterkill) en la localidad de la granja.

El aplastado con rodillo de cultivos de cobertura maduros (en floración) y de alta biomasa para la siembra o el trasplante sin labranza puede funcionar bien para ciertas secuencias de cultivos cuando el clima, la humedad del suelo, y la biomasa y la fecha de madurez del cultivo de cobertura son óptimos.

Los ejemplos incluyen:

- soya después de centeno de invierno,
- maíz después de veza vellosa + centeno,
- hortalizas de la familia del tomate trasplantadas después de una mezcla de leguminosa-cereal de invierno, y
- brásicas de cabeza de otoño después de una mezcla de mijo y caupí de verano.

La siembra orgánica sin labranza en cultivos de cobertura aplastados con rodillo puede ser bastante difícil de manejar. Pueden ocurrir reducciones en el rendimiento si los residuos del cultivo de cobertura interfieren con la siembra, retrasan el calentamiento del suelo y la mineralización del N, o no controlan las malezas adecuadamente.

Los agricultores orgánicos necesitan un "plan B" viable en caso de que surja un cultivo de cobertura pobre o con malezas, condiciones del suelo excesivamente húmedas o secas, u otros problemas.

Este sistema a menudo se denomina "sin labranza rotacional" porque frecuentemente se realiza algo de labranza posterior a la cosecha para preparar la cama de siembra del siguiente cultivo de cobertura. Algunos agricultores innovadores han extendido el período sin labranza a lo largo de varios cultivos sucesivos.

Sin embargo, las malezas perennes rastreras y (en campos manejados convencionalmente) las malezas resistentes a herbicidas hacen que la siembra verdaderamente continua sin labranza sea poco práctica, y casi todos los agricultores

"sin labranza" deben labrar ocasionalmente para mantener estas malezas a raya.

Los agricultores de cultivos especiales a pequeña escala tienen varias herramientas adicionales para hacer práctica la agricultura orgánica sin labranza:

- Ocultación – colocar tela paisajística opaca o lona de ensilaje sobre un cultivo de cobertura segado o aplastado con rodillo durante unas semanas para asegurar su terminación y reducir las malezas.
- Mulch orgánico complementario o película plástica sobre el residuo del cultivo de cobertura.
- Uso periódico de la laya de doble mango (broadfork) para aliviar la compactación sin dañar los agregados del suelo
- Remoción manual de malezas



Mejores Prácticas de Labranza para la Salud del Suelo en Sistemas Orgánicos

Los productores orgánicos experimentados desarrollan estrategias innovadoras y adaptadas al sitio que ponen en práctica los cuatro principios del NRCS para la salud del suelo:

1. cubrir el suelo,
2. mantener sistemas de raíces vivas,
3. mejorar la biodiversidad, y
4. minimizar la perturbación.

Estas estrategias construyen y mantienen suelos vivos y saludables incluso en el contexto de cierta labranza rutinaria. En las páginas siguientes de esta guía, las historias de granjas y algunos Recursos seleccionados proporcionarán ejemplos y aplicaciones de los principios generales de las mejores prácticas de manejo del suelo y la labranza en granjas orgánicas.

- Implementar un conjunto de prácticas para construir y proteger la salud del suelo, incluidas rotaciones de cultivos que incluyan un uso sustancial de cultivos de cobertura y períodos de descanso prolongados (todas las historias de granjas; Recursos 2, 3, 6, 8 y 9).
- Conocer las razones para labrar, el resultado deseado y cómo elegir la mejor herramienta para el trabajo (todas las historias de granjas, Recursos 1, 2a, 3, 7)
- Ajustar y operar las herramientas correctamente para lograr la mayor eficacia y el menor daño al suelo (Hager, Felker, Bell, Martens, Crabtree)
- Rotar las herramientas y las profundidades de labranza para mantener la estructura del suelo y evitar la capa endurecida (hardpan) (Crabtree)
- Sembrar el siguiente cultivo sin demora después de labrar (todas las historias de granjas).
- Reducir la frecuencia, la intensidad y la profundidad de la labranza en la medida de lo práctico para la operación (todas las historias de granjas, Recursos 1, 2a, 2d y 7)
- Utilizar el Manejo Integrado de Plagas (MIP) de malezas de base ecológica y tácticas que no perturban el suelo (flameado, siega, acolchado, pastoreo, etc.) para reducir la necesidad de cultivo (Frost, Hager, Willey, Crabtree, Recurso 2b).
- Seleccionar y combinar herramientas de cultivo para obtener el máximo control de malezas con la menor perturbación del suelo. El uso de un tractor de cultivo pequeño con herramientas como escardillos, cuchillas, escardadoras de dedos y púas que eliminan las malezas pequeñas con una perturbación muy superficial del suelo puede eliminar la necesidad de un cultivo más profundo y pesado para lidiar con malezas más grandes (Recursos 4 y 5).
- Cuando la presión de malezas exige una labranza agresiva, sembrar cultivos de cobertura de rápido crecimiento y alta biomasa para restaurar el suelo y mejorar la supresión de malezas (Rich, Martens, Recurso 2).
- Implementar rotaciones de cultivos estratégicas y siembra de relevo para frenar las malezas, minimizar el suelo desnudo y reducir la necesidad de labranza (Bell, Willey, Martens, Crabtree).
- Utilizar técnicas apropiadas a la escala para manejar las malezas y los cultivos de cobertura sin labranza (Frost, Hager, Recursos 3 y 8).
- Adoptar un enfoque adaptativo de la labranza basado en las condiciones actuales del clima y del suelo, algo especialmente importante a medida que el cambio climático hace que el clima sea más errático (Martens, Crabtree).
- Sembrar tierras en pendiente, altamente erosionables o de otro modo frágiles con pasto permanente, huertos, agroforestería, silvopastoreo o vegetación perenne nativa. Limitar las rotaciones de cultivos anuales a las partes menos erosionables de la granja (Bell, Recurso 2d).



TABLA 3. HISTORIAS DE GRANJAS QUE ILUSTRAN LOS DESAFÍOS, OPORTUNIDADES Y ESTRATEGIAS INNOVADORAS PARA EL MANEJO DEL SUELO Y LA LABRANZA EN SISTEMAS ORGÁNICOS

Historia de la granja (nombre del agricultor, nombre de la granja, estado)	Acres de cultivo	Sistema de producción	Desafíos del sitio	Estrategias innovadoras
1) Frost, Rough Draft Farmstead, Kentucky	1	Hortalizas	Poca superficie, producción intensiva	Mulch vivo en los senderos; sin labranza con cultivos intercalados
2) Hager, Crager Hager Farm, Georgia	2	Hortalizas, fresas	Poca superficie con historial de pérdida de suelo	Sistema sin labranza con lonas de tela paisajística
3) Felker, Mattawoman Creek Farm, Virginia	11	Hortalizas	Suelos Ultisoles arenosos y bajos en SOM	Rotocultor a velocidad reducida; tráfico controlado
4) Rich Burnt Rock Farm, Vermont	35	Hortalizas	Suelo arenoso, temporada de crecimiento corta	Cultivo de cobertura intensivo; disco de alta velocidad
5) Bell, Elmwood Stock Farm, Kentucky	200	Hortalizas, granos forrajeros, ganado	Presión de malezas	Integración de cultivos y ganado; terminación de pastizal con baja labranza
6) Willey, et al, California	295-1,700	Hortalizas, granos especiales	Clima mediterráneo, verano seco	Proyecto colaborativo del NRCS sobre labranza orgánica
7) Martens Organic Farm New York	1,900	Granos	Suelos limosos propensos al sellado	Rotación estratégica; siembra sin labranza extendida
8) Crabtree, Montana	19,500	Granos de secano, legumbres, oleaginosas	Clima semiárido, cambio climático	Rotaciones estratégicas; rotación de herramientas de labranza



Historia de granja 1: Minimizar la Alteración del Suelo en un Huerto Comercial para Mercado

Jesse Frost y Hannah Crabtree, Rough
Draft Farmstead, Lawrenceburg, KY

¿Cómo se puede construir un suelo saludable en un huerto para mercado donde la superficie limitada hace necesario preparar los mismos camas de cultivo con frecuencia para producir dos o más cultivos de alto valor cada año? Jesse Frost, agricultor orgánico de hortalizas, autor, consultor y presentador de un pódcast, describió su enfoque en una conferencia en 2022. “El suelo es como una batería gigante, las plantas vivas son los paneles solares y la vida del suelo transforma los exudados de las raíces de las plantas en carbono del suelo”, comenzó Jesse. Una vez que la batería del suelo está “cargada”, su actividad microbiana sostiene organismos de mayor tamaño, incluidos los cultivos alimentarios y los animales de la granja. Sin embargo, “si el suelo no se alimenta, se alimentará de sí mismo”, lo que provoca el agotamiento del suelo y dificulta la producción agrícola. Jesse y Hannah cultivan hortalizas de manera intensiva en una acre de terreno, que incluye un tunel alto de 24 x 96 pies y dos tuneles tipo oruga de 15 x 50 pies.

Adoptando los cuatro principios de salud del suelo del NRCS, su máxima prioridad es mantener el suelo siempre con plantas para alimentar la vida del suelo y recargar la “batería” del suelo. Además, minimizan al máximo la alteración física del suelo dentro del contexto de su operación agrícola. Los cultivos se producen siguiendo dos rotaciones diversificadas:

1. Las camas de “rotación intensiva” se siembran con una sucesión de cultivos de ciclo corto (60 días o menos), entre ellos cebollas verdes, betabels, arúgula, espinaca, zanahorias, lechugas y, ocasionalmente, un cultivo de cobertura. Ningún cultivo individual se siembra más de una vez durante un período de 12 meses.

2. Las camas de “rotación lenta” se siembran con cultivos de ciclo largo,



Figura 2. El cultivo intercalado, en el que dos o más cultivos no relacionados se siembran juntos en la misma cama de cultivo, favorece la biodiversidad, la cobertura del suelo y la salud del suelo en Rough Draft Farmstead.

como papas, camotes, ajo y tomates, junto con cultivos de cobertura; por ejemplo: cultivo de cobertura > tomates de verano > ajo > calabaza de invierno > cultivo de cobertura > palomitas de maíz, entre otros.

Las prácticas de manejo del suelo utilizadas en Rough Draft Farmstead incluyen:

- Uso de una horca de labranza (broadfork) para abrir y aflojar el suelo sin voltearlo, lo que mejora la penetración de las raíces, el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana. “Cierta alteración puede ser beneficiosa”, señaló Jesse. “Nuestra agricultura de no labranza no significa que no interactuemos en absoluto con el suelo”. Las camas de cultivo se aflojan con la broadfork únicamente cuando parecen estar compactadas, por lo general no más de una vez por temporada.
- Corte de los cultivos al momento de renovar las camas de cultivo. Debido a que arrancar las plantas de hortalizas después de la cosecha puede remover 40 libras o más de suelo y raíces por cada cama de 100 pies, ellos cortan las plantas al nivel del suelo o justo por debajo de la superficie, retiran las malezas, aplican enmiendas (compost, algas marinas, biocarbón y ácido húmico), utilizan la broadfork si es necesario, incorporan las enmiendas con un rastri- llo y luego siembran el siguiente cultivo.
- Pasillos vivos entre las camas de cultivo. Cuando las lluvias intensas arrastraron el acolchado de astillas de madera de los pasillos en su terreno con pendiente, Jesse y Hannah sembraron pastos de crecimiento bajo, tréboles, tomillo y manzanilla, y mantuvieron los pasillos con una podadora eléctrica de 17 pulgadas y uso de una podadora



Historia de granja 1 (Continuación)

para evitar que el césped perenne invada la parte superior de las camas de cultivo. Los pasillos con vegetación viva mejoran la salud del suelo, mientras que los pasillos de suelo desnudo cultivado favorecerían la erosión y degradación del suelo, además de desestabilizar las camas elevadas.

- Cultivo intercalado de dos o más cultivos en una misma cama de cultivo (Figura 2). La albahaca de porte bajo, las cebollas, las hortalizas de hoja y los betabeles prosperan entre cultivos más altos, como el tomate. Las diferentes profundidades de las raíces reducen la competencia por los nutrientes, y la diversidad de exudados radiculares favorece la biodiversidad microbiana.
- Siembra escalonada de cultivos de ciclo corto y largo, como rábano con calabaza de verano, cebollas verdes después del rábano y, posteriormente, col china (napa) después de la calabaza. Esta práctica permite obtener cuatro cultivos comercializables, manteniendo una cobertura vegetal continua y raíces vivas en el suelo.

Jesse explicó cómo ha adaptado este sistema a diferentes climas, tipos de suelo y escalas de producción durante su labor de consultoría con agricultores orgánicos en todo Estados Unidos:

- Sistema con cultivos de cobertura: Los cultivos de cobertura se utilizan para proteger, airear y alimentar el suelo. Posteriormente, se cortan o se derriban con un implemento pesado sin accionar la maquinaria, y luego se cubren con una lona (tarp); también pueden eliminarse de forma natural por las heladas invernales para permitir la siembra directa de cultivos de primavera. Este sistema funciona bien en explotaciones de escala mediana a grande, con la mayoría de los cultivos, tipos de suelo y climas, excepto en regiones con precipitaciones muy bajas.
- Sistema de acolchado profundo con compost: Se coloca cartón sobre el suelo y encima una capa de 4 a 8 pulgadas de compost. Este sistema es práctico para la producción a pequeña escala de cultivos de alto valor cuando se dispone de compost de alta calidad a un costo accesible. Funciona mejor en suelos de textura media a pesada y en climas frescos con precipitaciones bajas a moderadas.
- Sistema de no labranza con acolchado de materiales ricos en carbono de color claro: Se utiliza paja o heno como acolchado para controlar las malezas, conservar la humedad y proteger la superficie del suelo. Este sistema funciona bien para la producción a pequeña y mediana escala de cultivos de ciclo largo, especialmente en regiones cálidas y semiáridas, y donde la producción cercana de granos o forrajes permite disponer fácilmente de estos materiales para acolchado.
- Sistema de no labranza con poco acolchado: Se incorpora una aplicación abundante de compost en las primeras pulgadas del suelo para crear una capa superficial suelta y rica en materia orgánica. Este sistema es especialmente adecuado para hortalizas de hoja tierna (baby greens) y otros cultivos de siembra directa, particularmente en tuneles altos, y resulta útil cuando no se dispone de materiales para acolchado. Es apto para todo tipo de suelos, aunque puede no ser práctico en campos con alta presión de malezas, lluvias intensas o vientos fuertes.

En estos sistemas, Jesse señaló que, cuando las alteraciones inevitables del suelo derivadas de la siembra y el manejo de los cultivos de hortalizas estimulan la respiración del suelo, las plantas vivas aprovechan gran parte de ese CO₂ adicional para incrementar la fotosíntesis, el crecimiento, el rendimiento de los cultivos y el suministro de alimento para la vida del suelo. Su libro más reciente y sus podcasts publicados periódicamente ofrecen una amplia variedad de información práctica sobre la horticultura orgánica para mercado con sistemas de no labranza (consulte el Recurso 3).

Historia de la finca basada en una presentación realizada durante la Conferencia de Invierno de NOFA Vermont 2022 y en una conversación de seguimiento por correo electrónico llevada a cabo en marzo de 2022.



Historia de granja 2: Tela paisajismo para la producción orgánica de hortalizas y fresas sin labranza

Crager Hager Farm, Bremen, Georgia

El agricultor Bryan Hager ha desarrollado un sistema de labranza mínima que utiliza tela para paisajismo (landscape fabric) para el manejo de malezas y cultivos de cobertura en la producción orgánica de hortalizas y fresas en la región del Piamonte de Georgia (Figuras 3 y 4). Bryan trabaja en antiguas tierras agrícolas donde gran parte de la capa superficial del suelo fue arrastrada hacia el Golfo hace décadas. Coloca una tela negra (3.0 oz/yd²) con protección contra los rayos UV para eliminar los cultivos de cobertura y controlar las malezas durante la producción de cultivos que producen por encima del suelo (hojas, cabezas o frutos). Este material elimina eficazmente los cultivos de cobertura y controla la mayoría de las malezas, con excepción de la juncia (nutsedge) y el pasto Bermuda. La tela para paisajismo es lo suficientemente resistente para reutilizarse y, a diferencia de la lona para ensilaje (silage tarp), permite el paso del aire y la lluvia hacia el suelo.

Bryan utiliza una plantilla de madera contrachapada (plywood jig) y un soplete de propano para preparar los rollos de tela para paisajismo con orificios de siembra para una variedad

de cultivos (de una a tres hileras, con un espaciamiento entre plantas de 9 a 36 pulgadas) y utiliza tela completamente opaca (sin orificios) durante los períodos de barbecho. Un programa típico de las labores de campo es el siguiente:

- Después de la cosecha, aplicar cal y estiércol según lo indiquen los análisis de suelo, sembrar al voleo el cultivo de cobertura y compactar con una rotocultivadora arrastrada por tractor con la toma de fuerza (PTO) apagada. Los cultivos de cobertura incluyen ballico (ryegrass) y trébol ladino durante el invierno; trigo sarraceno (para períodos cortos) o sorgosudán con chícharos de hierro y arcilla durante el verano; y avena o rábano forrajero en otoño antes de un cultivo temprano de primavera.
- Si la siembra del cultivo de cobertura se retrasa, cubrir las camas de cultivo con tela opaca, sin orificios, para suprimir las malezas hasta que pueda sembrarse el cultivo de cobertura.
- Un mes antes de sembrar las hortalizas, cortar el cultivo de cobertura (dos pasadas, la segunda al ras del suelo) y luego colocar la tela opaca.
- Un día antes de la siembra, retirar la tela, aplicar fertilizantes si es necesario e incorporarlos superficialmente al suelo.
- Colocar la cinta de riego por goteo y la tela con el espaciamiento de orificios adecuado para el cultivo y, posteriormente, sembrar.
- Un mes después de la siembra, retirar cualquier malezas que emerjan a través de los orificios.

Los cultivos de cobertura se manejan con una alteración mínima del suelo. "En los high tunnels utilizo una desbrozadora o una podadora manual de empuje para cortar el cultivo de cobertura, y una azada oscilante (stirrup hoe) o un cultivador eléctrico pequeño para incorporarlo al suelo. También utilizo una broadfork en las camas de los tuneles altos cada año", comentó Bryan.

Para las hortalizas de hoja sembradas densamente, utiliza un desmalezador de llama (flame weeder) justo antes de la siembra. En el campo, los cultivos de cobertura se cortan y, si es necesario, se incorporan superficialmente con una cultivadora BCS (tractor de dos ruedas).

Los residuos y las raíces en descomposición "atraen una gran cantidad de lombrices que aflojan muy bien el suelo". Según Bryan, la cosecha de papas y camotes es "la actividad que más altera el suelo" dentro de la rotación. Inmediatamente después de cosechar las papas, siembra cultivos de cobertura.

Bryan ha comprobado que este sistema es práctico y muy rentable para su operación de aproximadamente 2 acres. La resistente tela dura más de cinco años y recupera su costo gracias a la reducción de la mano de obra para el control de malezas en uno o dos años. Algunas de sus ventajas y desventajas incluyen:

- Calentamiento intenso del suelo.



Figura 3. Para colocar y recoger la tela para paisajismo de manera eficiente y reducir la mano de obra, Bryan utiliza un sencillo carrete casero para enrollar la tela. La tela de 6 pies de ancho se coloca sobre camas elevadas con una separación de 5 pies de centro a centro, superponiéndose en los pasillos y fijándose con grapas metálicas de 8 pulgadas. Crédito de la fotografía: Bryan Hager



Historia de Granja 2, Continuación

bajo la tela negra durante el verano elimina las malezas emergentes y también puede dañar los cultivos jóvenes. Esparcir mulch de heno alrededor de los cultivos recién trasplantados o emergentes evita el daño por calor a los cultivos y a la vida del suelo cercana a la superficie.

- Las lluvias intensas pueden encharcarse sobre la tela, y las camas elevadas minimizan el problema.
- La tela proporciona hábitat tanto para organismos benéficos (lombrices de tierra) como para plagas (ratones, hormigas de fuego, cochinillas de la humedad). Las hormigas rara vez causan problemas mayores; si lo hacen, trata los montículos con jabón permitido por el NOP e insecticida de piretro.

Además de la labranza mínima, Bryan utiliza un conjunto de prácticas de salud del suelo, incluidas:

- En el campo, una rotación de cuatro años de brásicas, luego hortalizas mixtas de verano, luego papas o camotes o maíz con cultivos de cobertura de invierno y un año completo de cobertura.
- En los túneles altos, de dos a cuatro cultivos por año, y un cultivo de cobertura cada dos años, elegido por su alta biomasa, raíces profundas, supresión de nematodos y enfermedades, y facilidad de terminación. Estos incluyen alforfón, avena, maíz, sorgo, caupí, raigrás, caléndulas (marigolds) y centeno.
- Todos los residuos de hortalizas se devuelven al suelo inmediatamente o después de descomponerse en una pila. "Estoy tratando de espaciar mi cronograma de rotación para poder tirar los cultivos viejos en una cama adyacente y cubrirlos con tela sin orificios para que se descompongan."
- Mulch orgánicos, incluido un mulch abundante de heno sobre las papas blancas y los camotes, mulch de madera parcialmente

descompuesta en los túneles altos antes de la siembra del cultivo de cobertura y hojas de árboles en lugar de tela paisajística en algunos cultivos para agregar nutrientes y enfriar el suelo.

Estas prácticas mantienen una alta fertilidad y niveles de MOS en el rango del 5 al 8%

Historia de granja basada en conversaciones telefónicas y por correo electrónico con Bryan en septiembre de 2020 y abril de 2022.

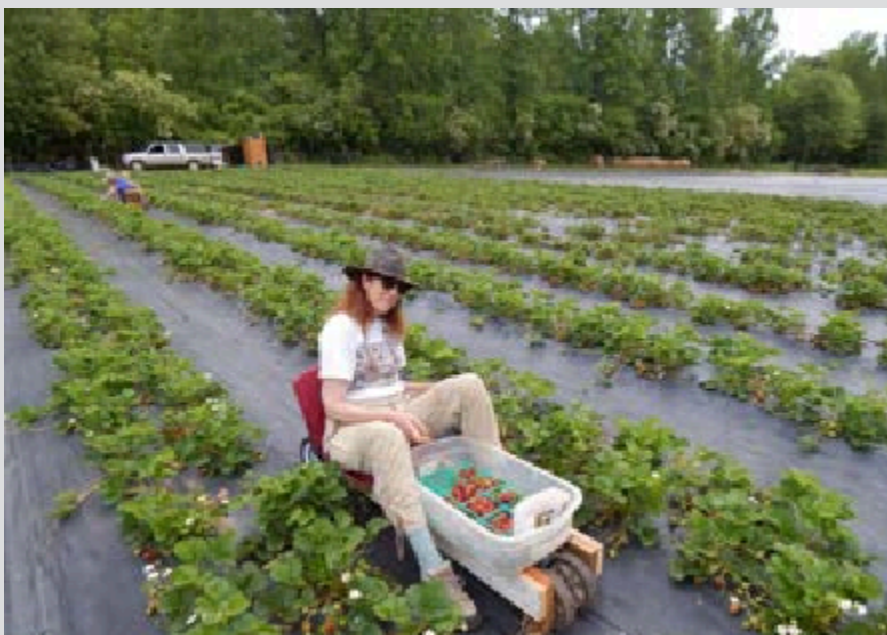


Figura 4. Tela paisajística para fresas (arriba) y tomates de túnel alto (abajo). Crédito de la foto: Bryan Hager.



Historia de Granja 3: Reduciendo la Velocidad del Rotocultor para Mejorar los Suelos Arenosos

Mattawoman Creek Farm, Eastville,
Virginia

Rick y Janice Felker de Mattawoman Creek Farm en Cape Charles, Virginia (costa este) producen una amplia gama de hortalizas para su Agricultura Sostenida por la Comunidad (CSA) de cuatro estaciones en 11 de los 30 acres de la granja. Sus suelos arenosos Bojac (Ultisoles franco-gruesos) tienen relativamente poca arcilla sobre la cual construir y retener materia orgánica.

Los cultivos al aire libre se producen en rotación con un cultivo de cobertura de centeno de invierno + veza vellosa el cual se siega, se labra superficialmente, se deja descomponer durante unas semanas

y luego se incorpora a una profundidad de tres a cuatro pulgadas para preparar la cama de siembra.

La labranza se realiza con un rotocultor tirado por tractor con la toma de fuerza (PTO) en marcha baja y una velocidad de avance de aproximadamente 2.5 mph para realizar el trabajo con menos daño a la estructura del suelo. Justo antes de la segunda pasada, aplican fertilizante de estiércol de aves (5-4-3) o suelo agotado de champiñones (spent mushroom soil) a dosis basadas en las necesidades del cultivo.

El cultivo de cobertura se siembra sobre todo el campo (camas y pasillos) para maximizar la biomasa. Después de la siega, Rick usa un acamellador de discos montado al frente para arrastrar el cultivo de cobertura y otra materia vegetativa hacia la parte superior de la cama, de modo que el rotocultor montado en la parte trasera pueda picarlo y mezclarlo durante la primera pasada (Figura 5, izquierda).

A partir de este año, maneja el cultivo de cobertura de manera diferente antes de las hortalizas de siembra más tardía. Justo antes de que el centeno libere el polen, el cultivo de cobertura se siega con desbrozadora de mayales a un pie por encima de la parte superior de la cama y se deja rebrotar. La veza rebrota vigorosamente sin producir semilla (Figura 5, derecha).

Para los cultivos trasplantados, Rick usa una conformadora de camas después de la primera pasada de labranza, colocando la cinta de riego por goteo a medida que se forma la cama. Al descubrir que esta operación deja una superficie irregular que puede interferir con la germinación de las semillas, ahora omite la conformadora de camas para los cultivos de siembra directa.

A pesar de la labranza rutinaria, la salud y la fertilidad del suelo han mejorado de manera constante durante los más de 20 años de operación de la granja.



Figura 5. Un cultivo de cobertura maduro de centeno de invierno y veza vellosa ha sido segado con desbrozadora de mayales y luego trasladado a la parte superior de las camas con un acamellador de discos montado al frente y labrado superficialmente en una sola pasada (izquierda). Para las hortalizas de temporada más tardía, se permite que la veza rebrote después de la siega con mayales para producir biomasa adicional y nitrógeno fijado (derecha).

Historia de Granja 3, Continuación

Varias prácticas explican su éxito:

- Las velocidades del tractor y del rotocultor se ajustan para evitar pulverizar los agregados del suelo. (Muchos agricultores de la región usan el rotocultor con la toma de fuerza en marcha alta y una velocidad de avance de aproximadamente 1.0 mph, lo cual deja una cama de siembra fina y esponjosa que fácilmente se encostra, se erosiona y pierde MOS).
- En 2005, los agricultores implementaron un sistema de tráfico controlado para que las zonas de crecimiento de las camas no reciban tráfico, evitando así la compactación del suelo.
- La cinta de riego por goteo se coloca debajo de las hileras de cultivo, de tres a cuatro pulgadas por debajo de la superficie. El riego subsuperficial fomenta un desarrollo radicular más profundo, lo cual mejora la resiliencia al calor y a la sequía en los cultivos de hortalizas, y alimenta a los microbios benéficos más profundamente en el perfil del suelo. Además, el goteo subsuperficial evita regar las semillas de malezas cercanas a la superficie dentro de la hilera.
- Los campos se siembran en una sucesión durante todo el año de hortalizas y cultivos de cobertura de invierno, y se siembra alforfón para llenar los vacíos de verano en la rotación. Esto mantiene el suelo cubierto por una diversidad de familias

de plantas y conserva raíces vivas durante gran parte del año.

- Si bien sus nueve túneles altos (0.35 acres en total) se cultivan más intensivamente (hortalizas de hoja de invierno en lugar del cultivo de cobertura de invierno), las camas se siegan, se enmiendan según sea necesario, se labran superficialmente y se replantan rápidamente después de que termina el cultivo anterior, a menudo el mismo día.
- Todos los residuos de cultivos se devuelven al suelo. Los residuos pesados, como el tomate, se siegan con desbrozadora de mayales antes de labrar.
- Los cultivos de cobertura proporcionan la fuente principal de carbono orgánico y nitrógeno, y las fuentes de nutrientes aplicadas se usan con moderación. Esto ha mantenido niveles óptimos (no excesivos) de fósforo en el suelo y ha prevenido la salinización de los suelos de los túneles altos.

Su programa de salud del suelo, junto con la cerca para venados instalada en 2017 para proteger 22 acres, han mejorado enormemente los rendimientos, de modo que rara vez tienen que hacer doble cultivo en las camas al aire libre y pueden dejar descansar algunas camas cada año bajo cultivos de cobertura de temporada completa.

Historia de granja basada en una presentación titulada Growing Healthy Greens, dada por Rick Felker (<https://www.mattawomancreekfarms.com>) en la Conferencia de Agricultura Biológica de Virginia el 30 de enero de 2016, una entrevista telefónica.

La capa superior arenosa del suelo ha desarrollado una estructura granular visible, la MOS ha aumentado al 2.0-2.2% (excelente para este suelo), el fósforo no se ha acumulado a niveles excesivos, y la disponibilidad de nitrógeno ha mejorado de modo que la fertirrigación con fertilizante de pescado y algas marinas ya no es necesaria. En palabras de Rick: “el suelo mejora cada año, y tenemos un crecimiento excelente.”



Historia de Granja 4: Manteniendo un Suelo Saludable para Hortalizas Orgánicas bajo Labranza de Ancho Completo

Justin Rich, Burnt Rock Farm
Huntington, Vermont,

¿Cómo mantiene un agricultor orgánico un suelo saludable cuando cultiva hortalizas de bajo residuo y propensas a las malezas en un suelo franco-arenoso que no retiene mucha materia orgánica, a una escala que hace que la agricultura orgánica sin labranza con mulch aplicado o lonas sea poco práctica, y en un clima frío con una temporada de crecimiento corta?

Durante una presentación en un panel sobre salud del suelo en la conferencia de

Organic Farming Association (NOFA) de Vermont de 2022, el agricultor orgánico certificado por el USDA Justin Rich describió cómo desarrolló su estrategia para su granja orgánica de hortalizas de 35 acres en el norte de Vermont.

“Las hortalizas son duras con el suelo, y las papas son especialmente intensivas en labranza”, señaló Justin. Cuando exploró opciones de control de malezas sin labranza, encontró que “nuestra escala es difícil para el entelado (tarping), y con nuestra alta precipitación, las lonas generarían áreas excesivamente húmedas a lo largo de los bordes. El acolchado con compost sobrecarga el fósforo y amenaza la calidad del agua, y sería prohibitivamente caro a nuestra escala”.

Entonces invirtió en un disco moderno de alta velocidad, el cual encontró menos perturbador para la estructura del suelo que otras herramientas como el rotocultor (Figura 6).

En un sistema de cultivo que depende de la labranza de campo completo, “debemos priorizar los cultivos de cobertura. Nuestro objetivo es mantener algo creciendo todo el tiempo, excepto por barbechos cortos para el control de malezas o para dejar que los residuos incorporados se descompongan”

Recurriendo a una caja de herramientas de alrededor de ocho especies diferentes de cultivos de cobertura, Burnt Rock Farm usa plantas vivas para alimentar la vida del suelo durante todo el año, y rota 10 de los 35 acres hacia cobertura de temporada completa cada año.



Figura 6. Para la mayoría de las operaciones de labranza, Burnt Rock Farm usa un disco de alta velocidad Farmet Softer de 2.5 metros (8 pies) equipado con discos dentados, montados independientemente sobre resortes y de ángulo compuesto, y una canasta rodante de ajuste de profundidad en la parte trasera. Trabajando de 3 a 4 pulgadas de profundidad a una velocidad de avance de 7-8 mph, el disco pica e incorpora los cultivos de cobertura segados con mayales (izquierda) y prepara una cama satisfactoria para el trasplante en dos pasadas con 10 días de diferencia. Los cultivos de cobertura muertos por el invierno requieren solo una pasada (derecha). Debido a que el disco funciona mejor en suelo húmedo, Justin incorpora las coberturas de mediados de verano después de una lluvia.



Historia de Granja 4, Continuación

Algunas secuencias de cultivos utilizadas en Burnt Rock Farm incluyen:

- Centeno de invierno, segado con mayales y con disco en la etapa previa al espigado (pre-boot) (para evitar la inmovilización de N), seguido dos semanas después por maíz dulce. Dentro de los dos días posteriores a que se completa la cosecha de maíz, los tallos de maíz se siegan con mayales, se pasa el disco una vez, y se siembra un cultivo de cobertura de otoño de avena y arvejas.

- Hortalizas de primavera temprana seguidas de un cultivo de cobertura de verano de alta biomasa (Figura 7).

- Siembra de primavera de avena y trébol rojo, con la avena segada en la etapa de espigado y el trébol dejado crecer hasta la primavera siguiente, luego terminado para sembrar papas, calabaza de invierno o cebollas.

La estrategia integrada de Justin de diversificar cultivos, maximizar la cobertura viva y las raíces, y la labranza de ancho completo superficial

mantiene la salud y la fertilidad del suelo para una granja orgánica productiva y rentable.

Historia de granja basada en una presentación en la Conferencia de Northeast Organic Farming Association (NOFA) de Vermont de febrero de 2022 y en una conversación de seguimiento con Justin Rich.



Figura 7. Un cultivo de cobertura de mediados de verano de sorgo-sudán, mijo japonés, arvejas y avena había alcanzado una altura de más de 5 pies cuando fue segado con mayales a finales de agosto, 57 días después de la siembra. Justin está sembrando este campo de heno agotado en nutrientes con una serie de cultivos de cobertura de alta biomasa para restaurar la fertilidad para la producción orgánica de hortalizas.



Historia de Granja 5: Reduciendo la Labranza en una Granja Orgánica de Tamaño Mediano de Cultivos y Ganado

Elmwood Stock Farm, Georgetown
Kentucky,

John Bell, Ann Bell y Mac Stone de Elmwood Stock Farm producen carne de res, cerdo, cordero, pollo, pavo, huevos y hortalizas mixtas orgánicas certificados para una CSA de 800 familias y otros mercados. Su operación de 550 acres incluye 350 acres de pasto permanente, y 200 acres, la tierra más nivelada y menos propensa a la erosión, en una rotación de tres años en hortalizas o granos forrajeros con cultivos de cobertura de invierno, seguida de una mezcla perenne de alfalfa-gramínea bajo pastoreo rotacional intensivo (mob grazing) durante cinco años.

La integración de cultivos y ganado y la venta únicamente de las porciones comestibles de los productos agrícolas optimiza el ciclo de nutrientes dentro de la granja, minimiza los costos de fertilizantes y evita los desequilibrios de nutrientes que pueden desarrollarse cuando los sistemas de cultivo orgánico dependen de fuentes de nutrientes orgánicos externas a la granja.

En el pasado, los agricultores usaban el arado de vertedera y el disco en el pastizal perenne, y pasaban el disco a los cultivos de cobertura de invierno para preparar los campos para los cultivos anuales. Los estudios de salud del suelo en su sistema realizados por científicos de la Universidad de Kentucky mostraron que los cinco años de pastizal no perturbado restauraron la comunidad microbiana del suelo a una condición similar a la de su pasto permanente y ayudaron a reponer la MOS activa y total y el nitrógeno orgánico del suelo (Lin et al., 2020). Sin embargo, el arado y el disco provocaron ráfagas rápidas de mineralización de MOS y emisiones de gases de efecto invernadero (Shrestha et al., 2019).

Con base en la investigación y en sus propias observaciones, los agricultores tenían varias preocupaciones:

- Arar para romper el pastizal deshace algunos de los beneficios de salud del suelo de los cinco años de pasto

- Producir hortalizas o granos solo tres años de cada ocho disminuye los ingresos y somete más acres a la labranza periódica.
- Los largos períodos de descanso en la rotación de pastoreo optimizan la salud del suelo, pero permiten que malezas perennes como el pasto Johnson (Johnsongrass) produzcan semilla y se conviertan en un problema en los cultivos posteriores.

A partir de la temporada de crecimiento de 2019, Elmwood Stock Farm adoptó un enfoque diferente para terminar el pastizal y los cultivos de cobertura. A finales del otoño del quinto año, el pastizal perenne se pastorea severamente, luego se labra superficialmente con rotocultor (2-3 pulgadas) a finales de febrero o principios de marzo antes de que se reanude el crecimiento activo. "Corro el rotocultor con la compuerta trasera abierta a una velocidad de avance de aproximadamente 3 mph para que el suelo no sea golpeado tan fuerte", dijo John. "Si veo trozos viables de pasto salir del rotocultor, reduzco un poco la velocidad para asegurarme de que el pastizal se rompa adecuadamente."

Una segunda labranza rotativa superficial en abril prepara el campo para colocar la cinta de riego por goteo y el mulch plástico negro para sembrar cultivos de temporada larga y de alta demanda de nutrientes, incluidos tomate, pimiento, berenjena, coles de Bruselas, y el doble cultivo de cultivos de temporada más corta. "Los cultivos han rendido igual de bien que en el pasado, y no obtenemos rebrote del pastizal", observó John, agregando que sería especialmente útil que la investigadora de la Universidad de Kentucky Kristi Jacobsen o sus estudiantes de posgrado realizaran investigaciones adicionales para evaluar cómo afecta el nuevo sistema a la salud del suelo y a los gases de efecto invernadero.

Durante los últimos años, John ha comenzado a aplastar con rodillo los cultivos de cobertura para la siembra sin labranza de granos forrajeros en lugar de pasar el disco a los cultivos de cobertura. "Es una curva de aprendizaje, y el éxito ha variado, pero es maravilloso cuando funciona". La humedad del suelo al momento de la terminación parece crítica, ya que tanto las condiciones húmedas como las secas del suelo pueden interferir con la siembra sin labranza.

Finalmente, los agricultores están experimentando a pequeña escala (dos campos que suman 11 acres) con una rotación alternativa de dos años que consiste en una sucesión de cultivos anuales de cobertura/forraje seguidos de una hortaliza o grano forrajero.

En 2020, las siembras de verano de ejotes, frijoles secos y calabaza de invierno fueron seguidas de centeno, arveja de invierno, veza y rábano sembrados sin labranza. Este cultivo de cobertura fue pastoreado dos veces en la primavera de 2021, labrado superficialmente con rotocultor a principios de junio, y seguido de una mezcla de verano de mijo alemán, centeno, caupí, soya, cáñamo sunn (sunn hemp), rábano y trébol de Valencia. Después de pastorear esta mezcla de cultivos dos veces, el campo se sembró sin labranza con centeno, el cual John planea cosechar con combinada en junio de 2022, aunque también podría aplastarse con rodillo para la siembra sin labranza de otro cultivo de producción.

Las ventajas de esta rotación incluyen forrajes de crecimiento más rápido y nutritivos, un cultivo alimentario o forrajero cada dos años (en lugar de tres cultivos en ocho años), y menos perturbación del suelo. La contrapartida, señala John, es que "renunciamos a los beneficios de las raíces perennes profundas". Comparar los beneficios para la salud del suelo de las dos rotaciones sería otro gran proyecto para los estudiantes de posgrado de University of Kentucky.

Historia de granja basada en un recorrido por la granja en 2017 y conversaciones de seguimiento con John Bell en agosto de 2020 y abril de 2022.



Historia de Granja 6: Subvención de Innovación en Conservación del NRCS: Reduciendo la Labranza en la Producción Orgánica de Hortalizas a Mayor Escala

Scott Parkand BrianPark, Park
Farming Organics, Meridian (Sutter
Co.) CA, 1,700 acres

Paul Muller y Andrew Brait, Full
Belly Farm, Guinda (Yolo Co.) CA, 400 acres

Phil Foster, Pinnacle Organically
Grown Produce, Hollister and San Juan
Bautista (San Benito Co.) CA, 295 acres

Tom Willey, T&D Willey Farms, consultor y
exagricultor orgánico en Madera Co., CA

Jeff Mitchell, University of California at
Davis Plant Sciences

Cynthia Daley, Center for Regenerative
Agriculture, California State University
Chico

La agricultura orgánica sin labranza a escala mecanizada requiere cultivos de cobertura maduros y de alta biomasa que puedan terminarse por medios mecánicos para crear un mulch supresor de malezas, equipo de siembra sin labranza que pueda colocar semillas o trasplantes a través del mulch a la profundidad correcta del suelo, y condiciones del suelo que permitan una liberación de nutrientes suficiente y oportuna para el cultivo de producción.

Controlar las malezas en un entorno sin perturbación y sin herbicidas puede ser difícil, y los agricultores orgánicos de hortalizas de California enfrentan desafíos adicionales, entre ellos:

- Dificultad para calibrar el mejor momento para la terminación del cultivo de cobertura y la siembra del cultivo comercial durante la transición del invierno lluvioso al verano seco en un clima mediterráneo.
- Poca o ninguna lluvia durante la temporada de crecimiento de verano, lo cual ralentiza la descomposición de los residuos superficiales y la mineralización y el

transporte de nutrientes a la zona radicular del cultivo.

- Necesidad de una liberación de nutrientes rápida y oportuna para cultivos de hortalizas de temporada corta (60-90 días).
- Problemas con el rebrote de los cereales aplastados con rodillo o con que el suelo se mantenga demasiado frío en primavera para los cultivos tempranos.
- Falta de herramientas y conocimientos disponibles localmente para los sistemas de hortalizas sin labranza.

Los agricultores que trabajan con humedad limitada a menudo dudan en sembrar cultivos de cobertura; sin embargo, estudios en el Valle Central de California no mostraron ningún agotamiento neto de la humedad del suelo por los cultivos de cobertura de invierno. (<https://calag.ucanr.edu/archive/article=ca.2022a0001>).

Tom Willey, quien cultivó hortalizas convencionales y orgánicas en el Valle de San Joaquín de California durante 40 años, y que desde entonces ha brindado consultoría a otros agricultores, describió los intentos anteriores de agricultura orgánica sin labranza como "tan decepcionantes que nos dimos por vencidos."

En 2018, se unió a otros tres agricultores líderes y a varios profesionales universitarios y de extensión en un esfuerzo colaborativo, financiado a través de una Subvención de Innovación en Conservación (CIG) del NRCS, para desarrollar sistemas de labranza mínima viables para la producción orgánica de hortalizas a mayor escala en California. Impulsado por una comprensión compartida del papel central de la biología del suelo en la agricultura orgánica exitosa y por la preocupación sobre los efectos adversos de la labranza, el proyecto se ha convertido en una comunidad de aprendizaje comprometida con el esfuerzo a largo plazo.

Los tres agricultores han integrado durante mucho tiempo cultivos de cobertura, compost y rotaciones diversificadas para construir suelos saludables y vivos, y buscan continuamente formas de reducir la labranza. Los Park normalmente combinan cultivos de cobertura de veza de invierno, compost de estiércol de pollo a razón de 3-5 toneladas/acre, y un disco diseñado para trabajar sus camas elevadas a una profundidad de 6 pulgadas antes de la siembra, con un objetivo de rendimiento de 55 toneladas/acre para tomates de conserva.

Phil Foster elabora compost en la granja, cultiva mezclas de cultivos de cobertura de invierno de alta biomasa, siega el cultivo de cobertura y usualmente prepara la siembra de hortalizas con labranza en franjas o labranza vertical superficial. En Full Belly Farm, Paul Miller y Andrew Brait han integrado un rebaño de 200 ovejas en la rotación, pastoreando cultivos de cobertura y residuos de hortalizas en un sistema de manejo que cumple con los requisitos de certificación de seguridad alimentaria.

Como parte del proyecto colaborativo CIG, las tres granjas aumentaron la cantidad y la diversidad de cultivos de cobertura en su rotación (usando mezclas de hasta 12 especies) y tomaron medidas adicionales para reducir la labranza. Full Belly Farm está usando el rodillo aplastador, Phil ha reducido la frecuencia y la intensidad de la labranza, y Scott buscó maximizar la salud del suelo con dos cultivos de cobertura multiespecie sucesivos, pastoreo con cabras para terminar el segundo cultivo de cobertura, y pasando su disco de camas a solo 3 pulgadas de profundidad.

Mientras tanto, investigadores universitarios probaron una amplia gama de especies, variedades y mezclas de cultivos de cobertura por su biomasa, N, fecha de madurez, y eficacia de terminación con el rodillo aplastador

Los tres agricultores observaron beneficios para la salud del suelo en sus ensayos de campo: más lombrices de tierra, mejor infiltración de agua, y una estructura tan suave que pueden excavar el suelo con las manos. Sin embargo, la reducción de la labranza redujo significativamente los rendimientos de tomate y otros cultivos. Aparentemente, dejar el compost y los residuos en la superficie durante el verano caluroso y seco del centro de California obstaculizó la mineralización y el transporte de nutrientes de los materiales orgánicos a las raíces de los cultivos.

Cuando usaron riego por aspersión para mover los nutrientes al suelo, esto causó problemas de enfermedades en las hortalizas de fruto. Colocar líneas de riego por goteo debajo del mulch de película plástica después de segar los cultivos de cobertura dio los mejores resultados, mejorando la disponibilidad de nutrientes y sustentando rendimientos de sandía sin labranza similares al tratamiento estándar con labranza en dos



Historia de Granja 6, Continuación

años sucesivos. Sin embargo, a los participantes del proyecto les disgustó tener que llevar al vertedero los residuos de plástico a base de petróleo al final de cada temporada.

Los agricultores reconocen que podría tomar varios años bajo labranza mínima alcanzar una función biológica del suelo y una nutrición de los cultivos óptimas. “Hay evidencia científica emergente de que las comunidades microbianas diversas del suelo pueden entregar niveles nunca imaginados de nutrientes a los cultivos si nuestras prácticas agrícolas facilitan, en lugar de interferir con, su capacidad de hacerlo”, señaló Tom en una entrevista de 2021 (Wozniacka, 2021).

Por el contrario, la sobreaplicación de nutrientes de cualquier fuente, incluso de compost, puede hacer que la vida del suelo se vuelva “perezosa” y menos eficiente en el ciclo de nutrientes. Por ejemplo:

- niveles altos de nitrógeno (N) soluble reducen la fijación de N y el ciclo de N microbianos,
- mientras que un alto nivel de fósforo (P) reduce la

“Hay evidencia científica emergente de que las comunidades microbianas diversas del suelo pueden entregar niveles nunca imaginados de nutrientes a los cultivos si nuestras prácticas agrícolas facilitan, en lugar de interferir con, su capacidad de hacerlo.”

-Tom Willey, consultor y agricultor orgánico

actividad de los hongos micorrízicos, apreciados por los agricultores por sus múltiples beneficios para el suelo y los cultivos

Dado que muchos cultivos de hortalizas necesitan sus nutrientes en un período corto de tiempo, las compensaciones entre satisfacer esta necesidad y construir la capacidad del suelo para mineralizar nutrientes en un sistema de baja labranza en un clima mediterráneo pueden ser difíciles de gestionar.

Durante la temporada de 2022, los agricultores están experimentando con varias estrategias adicionales:

Mulch de película plástica biodegradable, el cual será retirado y compostado después de la cosecha para cumplir con los requisitos del NOP.

Riego por goteo subsuperficial aireado para estimular la actividad microbiana en la zona radicular.

Ensayos a pequeña escala para evaluar componentes individuales del sistema de salud del suelo de Scott Park.

A pesar de la difícil curva de aprendizaje y de los reveses iniciales, los agricultores permanecen decididos a continuar sus ensayos e innovaciones en la granja en busca de sistemas orgánicos de labranza mínima viables que optimicen la simbiosis planta-suelo-microbio y, por lo tanto, sostengan los rendimientos.

Historia de granja basada en una serie de conversaciones por correo electrónico y teléfono con Tom Willey en 2021-2022.



Historia de Granja 7: Un Enfoque Estratégico para Reducir la Labranza y Mejorar la Salud de los Suelos Limosos en Rotaciones Orgánicas de Granos

Klaas Martens, Martens Organic Farm, Penn Yan, New York

Klaas y Mary Howell Martens cultivan granos forrajeros orgánicos certificados, forraje de sorgo-sudán, frijoles secos y arvejas, y hortalizas en 1,900 acres en la región de los Finger Lakes del norte del estado de Nueva York. También operan Lakeview Organic Grains, una cooperativa de agricultores que proporciona granos forrajeros y forrajes para lecherías orgánicas de la región. Colaboran extensamente con investigadores de la Universidad de Cornell y la Universidad de Wisconsin en dos ensayos de Investigación Agroecológica a Largo Plazo (LTAR) para abordar los desafíos de la labranza, la salud del suelo, la nutrición de los cultivos y el control de malezas en los sistemas de agricultura orgánica.

“El primer paso es aclarar las razones por las que usamos la labranza para cultivar, e identificar los servicios que la labranza proporciona”, dijo Klaas. Estos incluyen:

- Estimular la mineralización biológica del N y optimizar su momento en relación con la necesidad del cultivo.
- Aflojar el suelo para una mejor penetración de las raíces, infiltración de agua y aireación.
- Reducir la competencia de las malezas contra los cultivos.
- Proporcionar un entorno favorable para las semillas, incluyendo la profundidad correcta y el contacto entre la semilla y el suelo.
- Calentar el suelo temprano en la temporada.
- Manejar plagas y patógenos.

Entendiendo que la labranza es costosa, consume tiempo y es dura con el suelo, y que puede hacer que el suelo esté demasiado caliente para un crecimiento óptimo de las plantas, Klaas pregunta:

“¿podemos lograr estos mismos servicios sin labranza?”

Además de proteger el suelo, las ventajas de no labrar incluyen:

- Evitar estimular la germinación de ciertas semillas de malezas.
- Proteger las redes fúngicas benéficas del suelo y a los organismos más grandes, como las lombrices de tierra.
- Dejar residuos y rastrojo que crean un microclima favorable para las plántulas emergentes.
- El residuo adicional cubre la superficie del suelo y reduce las oscilaciones de temperatura; reduciendo las pérdidas por evaporación durante el verano.

Al desarrollar estrategias orgánicas de labranza reducida, Klaas se guía por el trabajo de varios líderes agrícolas alemanes de los siglos XX y XXI, incluido Jan-Hendrick Cropp, cuyo libro sobre agricultura orgánica sin labranza pronto se publicará en una traducción al inglés.

Cuando la labranza es necesaria, señala Klaas, la clave es encontrar la herramienta correcta y usarla correctamente. Por ejemplo, “todavía usamos nuestros arados de vertedera europeos y los mantenemos ajustados de forma superficial y correcta cuando tenemos mucho residuo que incorporar. Operados de esa manera, no invierten completamente el suelo y el resultado ha sido una gran mejora en la salud del suelo. La regla es que la labranza horizontal nunca debe ir más profunda que la profundidad hasta la cual el suelo está bien agregado. Eso es usualmente de 4 a 6 pulgadas”

El arado de vertedera se ha ganado una mala reputación porque los arados modernos son demasiado grandes y pesados, están mal diseñados, y generalmente se usan de forma incorrecta. “La inversión total y profunda entierra la materia orgánica y la biología en una zona anaeróbica, y trae suelo inestable y no agregado a la superficie”, explicó Klaas.

“Las rejas de un arado de vertedera europeo son más pequeñas y están diseñadas para una inversión parcial, girando la capa inferior 90 grados mientras que solo las primeras dos o tres pulgadas se invierten completamente”, de modo que la materia orgánica y la actividad biológica permanecen contiguas a la superficie.

Muchos de los suelos de la región de los Finger Lakes son franco-limosos, con más del 50% de limo. Cuando hay limo no agregado presente en la superficie debido a un arado inadecuado o a

una biología del suelo insuficiente, el limo se lixivia hacia abajo durante la lluvia, obstruyendo los poros del suelo y creando una capa subsuperficial impermeable al agua. Las raíces no pueden penetrar profundamente, y los cultivos sin labranza comúnmente fracasan en años de sequía.

Cuando estas condiciones hacen necesario el aflojamiento mecánico del suelo, la herramienta preferida de Klaas es un subsolador con brazos estrechos separados 30 pulgadas y que penetra lo suficientemente profundo como para atravesar la capa dura de depósito de limo. Las raíces de la colza forrajera (forage rape) sembrada en las ranuras creadas por el subsolado mejoran la agregación del suelo hasta una profundidad de 12 pulgadas.

“Usamos un cincel estrecho para evitar la fuerza lateral que fractura la capa endurecida (hardpan) —esto puede alterar los capilares del suelo de modo que el agua no pueda entrar—, mientras que las ranuras estrechas permiten la transferencia de agua tanto hacia abajo como hacia arriba y mejoran la germinación del cultivo de cobertura.”

“Los suelos con alto contenido de limo pueden volverse ‘adictos’ a la labranza”, agregó Klaas. “El arado profundo se hace para aflojarlos y para romper las capas que se han obstruido con limo. El arado lleva limo no agregado a la superficie. Luego, la lluvia lo mueve de nuevo hacia las capas más profundas, donde nuevamente obstruye los poros y los capilares.”

Para la labranza secundaria para preparar una cama de siembra, Klaas usa una rastra rotativa o un disco de velocidad. Estas herramientas aflojan y mezclan las primeras dos pulgadas de suelo sin pulverizar los agregados y tienen menos probabilidades de formar una capa endurecida de labranza secundaria que un disco estándar o un rotocultor.

Durante los últimos 25 años, Klaas ha estudiado los roles ecológicos de las malezas,



Historia de Granja 7, continuación,

las comunidades microbianas del suelo, y las interacciones positivas y negativas entre diferentes especies y variedades de cultivos.

Con esta información en mano, trabaja hacia atrás en el tiempo para identificar secuencias de cultivos que promuevan las condiciones deseadas mientras reducen la presión de malezas y otros problemas que comúnmente se abordan mediante la labranza.

La diversidad estratégica de cultivos es clave. Por ejemplo:

- El trébol rojo y la canola promueven la agregación del suelo a través de exudados de las raíces que sustentan la actividad biológica de la rizosfera.
- Terminar el trébol rojo mediante un corte superficial subsuperficial que deja el residuo en la superficie crea “pasto para lombrices de tierra”. Juntos, las lombrices, las raíces y los microbios “biolabran” (biotill) el suelo.
- El crecimiento abundante de pamlina (chickweed), ortiga muerta (deadnettle) y ortiga hedionda (henbit) en invierno, o de galinsoga (maleza anual) en verano, indican una pérdida de carbono del suelo debido a una labranza excesiva o a N soluble. Las malezas de invierno tienden a morir a finales de la primavera, lo que hace factible el maíz orgánico sin labranza o incluso el trigo de primavera.
- Agregar mostaza o alforfón a una rotación de gramíneas y leguminosas puede reducir la pudrición de la raíz en el frijol seco y la presión de la maleza mostaza silvestre en el trigo.
- El cardo canadiense (Canada thistle) y el cerraja perenne (perennial sowthistle) comúnmente infestan las rotaciones orgánicas de maíz-soya-trigo-trébol rojo en el norte del estado de Nueva York. Agregar cebada de invierno seguida de alforfón o frijol seco reduce las poblaciones de cardo porque el momento de la cosecha de la cebada corresponde a la etapa más vulnerable de desarrollo de los cardos
- El sorgo-sudán afloja los suelos y suprime los nematodos plaga, y los

cultivares forrajeros de nervadura central marrón (BMR) producen altos volúmenes de forraje valioso para las operaciones lecheras.

- Agregar un grano de invierno a una rotación de maíz-soya hace que el campo sea menos favorable para el amaranto (velvetleaf), convirtiendo esta maleza agresiva en una planta débil, propensa a enfermedades y de raíces atrofiadas.
- Sembrar arveja de invierno austriaca con centeno estimula el crecimiento del centeno al proporcionar N, creando una cobertura aplastada con rodillo más abundante y más supresora de malezas para la soya orgánica sin labranza.

La flexibilidad en la selección de cultivos para cada fase de la rotación y el uso correcto de las herramientas de labranza cuando es necesario conforman un sistema viable que protege la salud del suelo y los rendimientos de los cultivos.

- La siembra directa de guisantes de invierno y centeno en rastrojo de sorgo y pasto sudanés protege el cultivo emergente del viento, la desecación y los daños invernales, lo que da como resultado buenos cultivos (Figura 8).
- Un grano de invierno sembrado al voleo en la soya en la primera etapa de hoja amarilla de maduración funciona bien, ya que las hojas de la soya senescen y caen, cubriendo la semilla y promoviendo la germinación.

“Hemos tenido mucho éxito con secuencias de cultivos que mejoran enormemente el rendimiento, la salud de las plantas y la facilidad para controlar las malezas al hacer que nuestro cultivo sea la especie mejor adaptada a las condiciones del suelo”, señaló Klaas.

“Un ejemplo de esto es: cebada de invierno / doble cultivo sin labranza con sorgo-sudán o alforfón, seguido de una siembra de otoño sin labranza de centeno con arvejas de invierno

- austriacas, aplastado con rodillo la primavera siguiente y sembrado sin labranza con soya, luego sembrado sin labranza en otoño con triticales y arvejas de invierno. Este es el mejor escenario posible cuando todo funciona”.
- Las cosas no siempre salen de forma óptima para una secuencia larga sin labranza, especialmente a medida que el cambio climático trae patrones climáticos más extremos y erráticos. La flexibilidad en la selección de cultivos para cada fase de la rotación y el uso correcto de las herramientas de labranza cuando es necesario conforman un sistema viable que protege la salud del suelo y los rendimientos de los cultivos.
- Por ejemplo, cuando la soya se siembra sin labranza en centeno, el residuo de centeno puede ser demasiado grueso para la siembra al voleo sin labranza, por lo que puede usarse una labranza superficial para incorporar el centeno. Klaas espera con interés participar en investigaciones universitarias y en la granja adicionales sobre secuencias de cultivos y estrategias para avanzar en la vanguardia de los sistemas orgánicos de labranza mínima.

Historia de granja basada en una entrevista telefónica en abril de 2022.



Historia de la Finca 8: Diversificación de cultivos y métodos de labranza para construir un suelo saludable en la producción orgánica de granos de secano

Doug y Anna Crabtree, Vilicus Farms,
Havre, Montana

¿Es posible cultivar trigo orgánico, granos especiales, legumbres y cultivos oleaginosos en un clima templado-frío con solo 11 pulgadas de precipitación natural al año? Si. ¿Se puede hacer con un sistema de siembra directa (sin labranza)? No es fácil. ¿Puede un agricultor orgánico mantener la salud y la productividad del suelo mientras realiza la labranza necesaria para controlar las malezas y preparar la cama de siembra para una rotación altamente diversificada? ¡Claro que sí!

Doug y Anna Crabtree, con la ayuda de varios empleados agrícolas capacitados, están logrando precisamente eso en 12,509 acres (350 propios y el resto arrendados) en el condado de Hill, en el centro-norte de Montana. Mantienen la salud del suelo mediante la diversificación de cultivos, barbechos verdes, enmiendas orgánicas y la alternancia de métodos de labranza, según las condiciones actuales del suelo y las necesidades del siguiente cultivo.

En la mayor parte de su superficie, Vilicus Farms utiliza la siguiente rotación flexible de siete años:

Año 1: Cultivo de grano de baja demanda nutricional:

Se siembran espelta, emmer, einkorn, cebada o trigo suave, cultivos con menores requerimientos de nutrientes y humedad, entre el 1 de abril y el 15 de mayo. Los granos se cosechan entre finales de julio y agosto, dejando un rastrojo de 4 a 8 pulgadas y la paja acomodada en hileras sobre el campo.

Año 2: Barbecho verde:

Se siembra una leguminosa anual o una mezcla de cultivos de cobertura ("cocktail mix") a finales de marzo o principios de abril, o bien se sobresiembra meliloto bianual en el cultivo del año anterior. En junio, se aplica estiércol de ganado de engorde mezclado con material de cama proveniente de un corral de engorde cercano, en una cantidad suficiente para reponer el fósforo (P) extraído durante las cosechas a lo largo de la rotación de siete años y cubrir



Figura 9. El arado de cuchilla o arado de barrido (sweep plow undercutter) elimina los cultivos de cobertura y las malezas al cortar la corona de las raíces justo por debajo de la superficie, dejando los residuos sobre el terreno y la mayor parte del perfil del suelo sin alteración. Esta herramienta requiere un nivel de humedad del suelo muy preciso, ya que en condiciones húmedas la vegetación puede volver a crecer, mientras que en condiciones muy secas la herramienta no penetra lo suficiente para eliminar el cultivo de cobertura. "Funciona aproximadamente el 50 % de las veces para terminar el barbecho verde", dijo Doug. "Mi alternativa cuando no funciona es usar el disco rápido (speed disk)". Fotos: Drew Lyon, Universidad de Nebraska.

los cultivos se eliminan con un arado de cuchilla (que deja un 90 % de cobertura de residuos) (Figura 9) o con un disco rápido (que deja entre un 50 % y un 60 % de cobertura de residuos).

Año 3: Cultivo de grano de alta demanda nutricional:

Se siembra trigo duro rojo de invierno o de primavera, o trigo durum. "Este es nuestro cultivo de mayor valor comercial y debe ser exitoso", señaló Doug. Se siembra después de la aplicación del estiércol para asegurar que el cultivo disponga de suficientes nutrientes.

Año 4: Cultivo de hoja ancha o avena:

Se siembran cartamo, lino, mostaza, camelina, cañamo o avena en mayo y se cosechan en septiembre. Doug incluye la avena en este grupo porque "tiene un efecto beneficioso sobre el ecosistema del suelo, muy diferente al de otros cereales".

Año 5: Cultivos de leguminosas de grano:

Se siembran arveja, lenteja o almorta (chickling vetch) para producción de semilla durante la primavera.

Año 6: Avena, cultivo de hoja ancha o cultivo de grano de baja demanda nutricional:

Se siembra en primavera un cultivo de hoja ancha o un cultivo de grano de baja demanda nutricional que no haya sido cultivado previamente en ese lote durante el ciclo de rotación. La cosecha se realiza en agosto o septiembre.

Año 7: Barbecho verde:

Se sobresiembra meliloto bianual en el cultivo del Año 6 (si en el Año 2 se sembraron cultivos de cobertura anuales), o se siembran leguminosas anuales o una mezcla de ellas (si en el Año 2 se cultivo meliloto). El cultivo de cobertura se elimina en junio.

Vilicus Farms participa en el Programa de Administración para la Conservación (Conservation Stewardship Program, CSP), mediante un contrato que respalda esta rotación diversa de cultivos orientada a la conservación de los recursos, así como el mantenimiento de amplios bordes alrededor de los campos para favorecer la biodiversidad y el hábitat de los polinizadores (Figura 10).

Algunos propietarios de las tierras que los Crabtree arriendan han expresado dudas sobre una rotación tan larga y compleja. En esas parcelas, la rotación se ha simplificado a los primeros cinco años descritos anteriormente, lo que mantiene la diversidad de cultivos y proporciona un cultivo comercial en cuatro de cada cinco años.

Estas rotaciones contrastan marcadamente con la práctica predominante en el condado de Hill, que consiste en un sistema de dos años de trigo-barbecho con siembra directa (sin labranza), en el cual el barbecho se mantiene mediante el uso de herbicidas. Las investigaciones han demostrado que este sistema degrada la materia orgánica del suelo (MOS) y la salud del suelo (Halvorson et al., 2002). Aunque cada vez más agricultores están incorporando cultivos de leguminosas y oleaginosas a sus rotaciones, al menos dos tercios de las tierras de cultivo del condado de Hill permanecen bajo el sistema de trigo-barbecho, que deja el suelo desnudo y "sin vida" desde la cosecha en julio hasta la siembra del siguiente cultivo, es decir, durante más de 18 meses en el caso del trigo de primavera.



Historia de la Finca 8 (Continuacion)

El cambio climático ha afectado las prácticas agrícolas en la región donde trabajan los Crabtree de varias maneras. Históricamente, los agricultores de esta zona de Montana cultivaban únicamente trigo de primavera. Sin embargo, debido al aumento de las temperaturas y a la llegada más temprana de la primavera, actualmente aproximadamente la mitad de la superficie agrícola del condado se siembra con trigo de invierno. Esto prolonga el tiempo durante el cual el suelo permanece cubierto por vegetación viva y reduce el periodo de barbecho a entre 12 y 14 meses. Por otro lado, Doug señaló que cuatro de los cinco años comprendidos entre 2017 y 2021 registraron precipitaciones muy por debajo del promedio. Esto limita el crecimiento de las plantas, la producción de los cultivos y el retorno neto de residuos orgánicos al suelo, dificultando que los agricultores mantengan la materia orgánica del suelo (MOS).

Doug ha desarrollado una estrategia de labranza para mantener las malezas bajo control, manejar los cultivos de cobertura y preparar las camas de siembra, al mismo tiempo que protege la salud del suelo. El rastreo y los residuos de los cultivos se dejan sobre el terreno durante el invierno, y la mayor parte de la labranza se realiza entre siete y diez días antes de la siembra de cada cultivo. La sembradora está equipada con rejas tipo barrido (sweeps), que eliminan las malezas pequeñas que germinan durante ese intervalo. Las herramientas de labranza previas a la siembra se seleccionan de acuerdo con las necesidades del cultivo que se va a sembrar:

- Disco rápido (speed disk): trabaja los primeros 2 a 3 pulgadas del suelo sin invertirlo.
- Arado cincel con rejas anchas (chisel plow): levanta y afloja las primeras 3 a 4 pulgadas del suelo. Posteriormente se pasa un rodillo compactador (coil packer) para afirmar la superficie y favorecer la germinación de las malezas, que luego son eliminadas por las rejas de la sembradora.
- Arado de vertedera (moldboard plow): trabaja a una profundidad de 6 a 8 pulgadas para enterrar las semillas de malezas. Una semana después se pasa un disco rápido. Doug utiliza esta estrategia únicamente para los cultivos con menor capacidad para competir con las malezas (como el lino y la avena), y solo una vez durante cada ciclo de rotación de siete años.

"He observado una enorme ventaja al alternar el tipo y la profundidad de la labranza", comentó Doug. "Nunca utilicé la misma



Figura 10. A diferencia del sistema predominante en la región, basado en una rotación de trigo-barbecho con uso de herbicidas, Vilicus Farms mantiene toda su superficie cubierta con vegetación viva o con residuos de cultivos durante todo el año. Algunos ejemplos incluyen un barbecho verde con leguminosas sobresiembradas, visible después de la cosecha del grano (izquierda), y franjas de conservación con vegetación perenne nativa, que ayudan a retener el suelo y proporcionan hábitat para organismos beneficiosos y fauna silvestre (derecha).

la misma herramienta en el mismo lote dos años consecutivos."

Doug señaló que es importante terminar el barbecho verde con cultivos de cobertura en el momento adecuado: lo suficientemente tarde para producir una cantidad significativa de biomasa y fijar nitrógeno (N), pero lo bastante temprano para evitar agotar la humedad del suelo y reducir el rendimiento del siguiente cultivo. En la mayoría de los años, ese "punto óptimo" se alcanza cerca del 1 de julio; sin embargo, las normas actuales del programa de seguro agrícola exigen que la terminación se realice antes del 1 de junio. Durante los últimos años, Vilicus Farms ha comenzado a integrar el ganado en su rotación de cultivos.

"Nuestro capataz de operaciones, Paul Neubauer, tiene una empresa de pastoreo por contrato y comencé a pastorear ganado de carne en nuestras tierras hace tres años", comentó Doug. "Esperamos recibir al menos 400 cabezas de ganado entre junio y octubre de este año. Paul desarrolló un método para utilizar el pastoreo en lugar de la labranza para terminar el barbecho verde. Los cultivos de cobertura se cortan con una segadora-hileradora (swather) y luego el ganado los patea durante dos o tres días. Me gusta mucho este sistema porque elimina eficazmente el cultivo de cobertura y el estiércol estimula la actividad biológica del suelo."

Motivado por este éxito, Doug adquirió un pequeño hato de 12 bovinos Scottish Highland, que planea ampliar como parte de un nuevo emprendimiento de producción de carne de res alimentada exclusivamente con pasto.

En 2021, los Crabtree adquirieron una volteadora de compost y comenzaron a elaborar compost con el estiércol que utilizan para los cultivos de grano de alta demanda nutricional. El proceso de compostaje, junto con la incorporación de bioinoculantes y agua cuando es necesario, estabiliza los nutrientes y mejora los beneficios para la salud del suelo. Investigadores de Utah informaron que una sola aplicación abundante de compost (22 toneladas de peso seco por acre) de

El compost elaborado con estiércol de ganado de carne duplica la materia orgánica del suelo (SOM) en la capa superficial y el rendimiento del trigo orgánico de secano durante los siguientes 15 años (Reeve y Creech, 2015).

Doug observó que "ahora que tenemos ganado en nuestras tierras, podemos reducir nuestra dependencia del estiércol importado, aunque quizás no podamos eliminarla por completo".

En conclusión, Vilicus Farms protege el recurso suelo en un clima templado-frío y semiarido mediante prácticas integradas de agricultura orgánica que ejemplifican los principios de salud del suelo promovidos por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS):

- Una rotación de cultivos altamente diversificada.
- Cobertura vegetal viva durante cada temporada de crecimiento.
- Uso de herramientas de labranza y momentos de intervención que mantienen la cobertura de residuos cuando no hay cobertura vegetal viva.
- Alternancia de los métodos y la profundidad de la labranza para evitar la formación de capas compactadas (hardpan).
- Prácticas de producción orgánica que excluyen el uso de agroquímicos sintéticos.
- Uso de enmiendas orgánicas para mantener los niveles de nutrientes adecuados, sin excederlos.
- Integración de cultivos y ganado para mejorar el reciclaje de nutrientes y la actividad biológica del suelo.
- Amplias franjas de pradera para reducir la erosión causada por el viento y favorecer la biodiversidad.

Historia de la finca basada en una entrevista telefónica realizada en abril de 2022.



Recursos

Reducción de la intensidad de la labranza en sistemas de producción orgánica por George Kuepper y Jeff Schahczenski. 2020. ATTRA Bulletin, 12 pp, National Center for Appropriate Technology. <https://attra.dev.ncat.org/wp-content/uploads/2022/08/IP183-organic-tillage.pdf>

Guías sobre salud del suelo y agricultura orgánica Organic Farming Research Foundation <https://ofrf.org/resources/>

El manual del suelo vivo: la guía del agricultor de siembra directa para la horticultura de mercado ecológica por Jesse Frost. 2021. Chelsea Green Publishing, White River Junction, VT, 290 pp. Also, The No-till Market Garden Podcast. <https://www.notillgrowers.com>

Cultivando alianzas: Opciones de control de malezas entre hileras para agricultores de todos los tamaños. 2018. NC SARE-funded on-farm research and demonstration of flex tine cultivator, finger weeder, and torsion weeders widely used by organic farmers. <https://www.youtube.com/watch?v=UUt7egqexVA>

Foro de Control Físico de Malezas Videos e información técnica sobre el manejo integrado de malezas (MIP) en sistemas orgánicos y herramientas avanzadas de cultivo para el control preciso de malezas en hortalizas. Elaborado por Eric Gallandt (U Maine) and Daniel Brainard (Michigan State U). <https://forum.physicalweedcontrol.org/>

La verdad sobre la agricultura orgánica Serie de podcast de 2021 presentada por Mallory Krieger & Nate Powell-Palm of the Organic Agronomy Training Service (OATS). <https://www.organicagronomy.org/resource-library/qp9zv6dofmuyserz10vnaikqyxwcd-ka8ck-je6fz> Episodio 1: Moldboards and Dust Clouds: Organic Has a Tillage Problem ("Arados de vertedera y nubes de polvo: la agricultura orgánica tiene un problema de labranza"). Agricultores y científicos de Nueva York, Montana y la región del Cinturón del Maíz analizan la labranza y la salud del suelo en sistemas de producción orgánica.

Manual del programa del día de campo sobre labranza reducida en sistemas orgánicos Willsboro Research Farm, Cornell University, Willsboro, NY, July 31, 2018. 108 pp. https://rvpadmin.cce.cornell.edu/uploads/doc_699.pdf

Cultivar para el Mercado Esta publicación ha presentado numerosos casos de estudio sobre sistemas y herramientas de siembra directa y labranza reducida para la producción orgánica de hortalizas y otros cultivos especializados a pequeña escala. Artículos recientes publicados en el Vol 28 (2019) No 1; Vol 29 (2020) No 1, 2, 4, 5, 7, 8, y 10; Vol 30 (2021) No 2 y 3. <https://growingformarket.com/>

Informe de indicadores de referencia de salud del suelo 2021 Franklin Egan and Sarah Bay Nawa, Pasa Sustainable Agriculture, <https://pasafarming.org/soil-benchmarks-2021> Este informe documenta excelentes indicadores de salud del suelo en rotaciones de hortalizas y cultivos extensivos bajo sistemas de siembra directa, labranza reducida y labranza convencional.



Hallazgos relevantes de investigaciones sobre la labranza en sistemas de cultivos orgánicos

Mantenimiento y mejora de la salud del suelo en sistemas de cultivos orgánicos con labranza

Los sistemas de producción orgánica que mantienen la cobertura del suelo, raíces vivas y diversidad de cultivos, junto con una labranza completa del terreno aplicada de manera cuidadosa, pueden conservar la salud del suelo. En seis ensayos agrícolas de largo plazo realizados en California, Iowa, Maryland, Minnesota, Pensilvania y Wisconsin, los sistemas orgánicos de rotación de cultivos que incluían cultivos de cobertura de leguminosas o cultivos de pastizal, enmiendas orgánicas y labranza rutinaria acumularon más carbono orgánico del suelo (SOC ~ SOM × 0.5) que las rotaciones convencionales de maíz y soya (Delate et al., 2015b).

En el ensayo realizado en Beltsville, Maryland, los niveles de SOC después de 13 años en los sistemas orgánicos fueron 2.5 toneladas por acre más altos que en el sistema convencional de siembra directa y 3.9 toneladas por acre más altos que en el sistema convencional con labranza (Cavigelli et al., 2013). La diversidad de cultivos y la cobertura vegetal viva son fundamentales, ya que una rotación orgánica de solo dos años de maíz y soya puede degradar la salud del suelo y favorecer problemas con malezas, mientras que una rotación de cuatro años de maíz-soya-cereal-alfalfa mejora las condiciones del suelo (Moncada y Sheaffer, 2010). Las enmiendas orgánicas, como el compost, cumplen un papel complementario importante junto con las raíces vivas para desarrollar una materia orgánica del suelo (SOM) activa y estable, haciendo que los suelos sean menos vulnerables a los efectos adversos de la labranza (Bhowmik et al., 2017; Huriisso et al., 2016).

Muchos de los implementos de labranza que están ganando popularidad entre los productores orgánicos parecen ser menos agresivos para la vida del suelo y la salud del suelo que el arado de vertedera, el disco y la rotocultivadora. Diversos estudios han demostrado que la labranza con arado cincel o la labranza superficial sin inversión del suelo (aproximadamente 3 pulgadas de profundidad), como el uso de rastras rotativas (rotary harrow) o discos de alta velocidad (high-speed disk), mantienen una mayor actividad microbiana del suelo y una mejor funcionalidad.

diversidad microbiana que la labranza profunda con inversión del suelo (Sun et al., 2016; Zuber y Villamil, 2016).

En comparación con el uso de discos, la terminación de cultivos de cobertura mediante un arado de cuchilla (sweep plow) mejoró la retención de humedad, el control de malezas y los rendimientos de los cultivos posteriores en Nebraska (Wortman et al., 2016), y redujo la erosión causada por el viento en la región interior del Noroeste del Pacífico (Sharratt y Feng, 2009). En la producción orgánica de hortalizas, la desmenuzadora vertical (spading machine) evitó la compactación del subsuelo y, en algunos casos, mejoró los rendimientos en comparación con la labranza con arado-disco o rotocultivadora (Cogger et al., 2007).

Un desafío que enfrentan los agricultores orgánicos para mantener la salud del suelo y del medio ambiente en una rotación de cultivos anuales y perennes es el aumento repentino de la oxidación de la materia orgánica del suelo (SOM) y de las emisiones de gases de efecto invernadero que puede ocurrir cuando un pastizal de leguminosas o de una mezcla de leguminosas y pastos se ara para volver a la producción de cultivos anuales (Han et al., 2017; Shrestha et al., 2019). Algunos agricultores están explorando alternativas al arado de vertedera (moldboard plow) para conservar más beneficios del suelo proporcionados por estas rotaciones (consulte la Historia de la Finca 5).

En el censo agrícola más reciente realizado por el Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas del USDA (NASS), porcentajes similares de productores orgánicos y convencionales (aproximadamente 39 %) utilizan algún tipo de labranza de conservación (Shade, 2021). Aunque la siembra directa continua se considera más práctica para los sistemas convencionales que para los sistemas orgánicos, la evolución constante de las malezas resistentes a herbicidas ha obligado a más agricultores convencionales a "comprar maquinaria" para el control de malezas (consulte el Recurso 6).

Un metaanálisis reciente comparó la biomasa microbiana en tres sistemas: siembra directa (no-till), labranza reducida (reduced tillage), que consiste en una labranza superficial de todo el terreno sin inversión del suelo utilizando discos o rastras rotativas, y labranza convencional (conventional tillage), que utiliza arado de vertedera a una profundidad de 8 pulgadas o más, seguido de una labranza secundaria. Los resultados mostraron que la labranza reducida duplicó la biomasa de hongos y bacterias en comparación con el arado, mientras que la siembra directa solo produjo un pequeño aumento en la biomasa de hongos (Morugán-Coronado et al., 2022).

Los autores atribuyeron este hallazgo a la compactación del suelo, la reducción de la porosidad y el sellado de la superficie durante la siembra directa continua a largo plazo. Estas condiciones pueden restringir el intercambio de gases, favorecer el encharcamiento y, por lo tanto, limitar la actividad microbiana.

Por el contrario, una labranza de menor intensidad en todo el terreno puede favorecer la aireación y la actividad microbiana, causando menos daño a las redes de hongos que la labranza con arado y disco. Los microorganismos del suelo cumplen funciones fundamentales en la formación de materia orgánica estable y en el ciclo de nutrientes (Franzluebbers, 2018; Prescott et al., 2021), lo que sugiere que los sistemas orgánicos con labranza reducida pueden mejorar estas funciones esenciales.

Una revisión reciente de casi 400 estudios demostró que los insecticidas, fungicidas, herbicidas y otros agroquímicos pueden causar daños importantes a los invertebrados del suelo, incluyendo lombrices de tierra, ácaros, colémbolos, escarabajos y otros artrópodos (Gunstone et al., 2021). Estos organismos cumplen funciones esenciales en el mantenimiento de la estructura del suelo, el reciclaje de nutrientes y la formación de materia orgánica del suelo (SOM). Por esta razón, los sistemas de agricultura orgánica protegen la función biológica del suelo al excluir el uso de agroquímicos sintéticos.

Las investigaciones actuales relacionadas con la salud del suelo y la labranza en sistemas orgánicos incluyen:

- Salud del suelo y rendimiento de granos bajo diferentes sistemas: labranza completa, labranza superficial (high-speed disk) y labranza de frecuencia reducida. También incluye un estudio observacional sobre la salud del suelo y las prácticas de labranza en 25 fincas orgánicas de granos dentro del PASA Soil Health Benchmark Study (Wallace y Barbercheck, 2021).
- Eficacia de las enmiendas orgánicas para reducir los efectos de la labranza sobre los organismos del suelo y la salud del suelo en regiones semiáridas (Idaho y el este de Washington) (Johnson-Maynard, 2021).
- Efectos de diferentes cultivos de cobertura, estiércol de aves de corral y sistemas de labranza en franjas (strip till) frente a labranza completa (full till) sobre la salud del suelo, el ciclo de nutrientes y los rendimientos en los suelos Ultisoles del sureste de Estados Unidos (Ye, 2021).



- Efecto de cuatro niveles de intensidad de labranza y de insumos externos a la finca sobre la salud del suelo, el ciclo de nutrientes y los rendimientos en una rotación orgánica de maíz-soya-trigo en Tennessee (Jagadamma, 2021).
- Efecto de tres niveles de labranza y de insumos sobre la salud del suelo, el ciclo de nutrientes y los rendimientos en cultivos orgánicos de granos en suelos de textura gruesa y fina en la península de Delmarva (Weil et al., 2021).

Sistemas orgánicos de labranza mínima para cultivos extensivos

La siembra directa orgánica rotacional, en la cual los cultivos comerciales se siembran sobre cultivos de cobertura eliminados mediante un rodillo compactador (roller-crimper), mejora los resultados de salud del suelo en comparación con la siembra directa convencional continua o con sistemas orgánicos que utilizan labranza rutinaria. Sin embargo, puede reducir considerablemente los rendimientos, especialmente en climas más fríos (Barbercheck et al., 2008; Curran et al., 2014). En un estudio realizado en 11 sitios de cinco estados del norte de Estados Unidos (Iowa, Michigan, Dakota del Norte, Wisconsin y Pensilvania), este sistema de siembra directa redujo los rendimientos del maíz orgánico en un 63 %, de la avena en un 63 % y de la soya en un 31 % (Delate, 2013).

La siembra directa orgánica también ha enfrentado desafíos en climas semiáridos y mediterráneos, incluyendo malezas perennes agresivas como el cardo canadiense, la liberación lenta de nutrientes provenientes de los residuos superficiales y la reducción de los rendimientos (Menalled, 2019; Norton et al., 2014; Wozniacka, 2021).

La siembra directa rotacional parece ser más práctica en climas cálidos con precipitaciones moderadas a altas, especialmente para cultivos comerciales fijadores de nitrógeno. En la región del Atlántico medio, los rendimientos de la soya orgánica sembrada mediante siembra directa sobre cultivos de cobertura de veza y cereal eliminados con rodillo compactador fueron iguales o superiores a los rendimientos de la soya cultivada con labranza. Sin embargo, el maíz en siembra directa continuó mostrando una reducción significativa del rendimiento (Barbercheck, 2016; Barbercheck et al., 2014).

La soya orgánica sembrada directamente sobre centeno cereal de alta biomasa eliminado con rodillo compactador (roll-crimped high-biomass cereal rye) ha

También han tenido buenos resultados en NC, MO y NY (Caldwell et al., 2016a; Clark, 2019; Reberg-Horton, 2009). El centeno inmoviliza el nitrógeno soluble, lo que dificulta el desarrollo de malezas que responden al nitrógeno, como los amarantos (pigweeds), la ambrosía (ragweed), los pastos cola de zorro (foxtails) y el cenizo (lambsquarters), sin afectar la soya fijadora de nitrógeno. Además, el acolchado de cen-teno reduce el moho blanco en la soya orgánica y el frijol seco (Pethybridge y Ryan, 2021).

Otra estrategia para reducir la labranza es la siembra en relevo o la sobresiembra de cultivos de cobertura dentro de cultivos comerciales en pie, lo que extiende el período de crecimiento del cultivo de cobertura, proporciona una cobertura continua del suelo y elimina la labranza posterior a la cosecha. La sobresiembra de raigrás y trébol en maíz durante la etapa de 5 a 7 hojas, o de raigrás en soya, ha funcionado bien en Nueva York (NY) (Caldwell et al., 2016b). En Pensilvania (PA), la sobresiembra de falaris (timothy) y trébol rojo en espelta mejoró los rendimientos posteriores de maíz en 11 bushels por acre (bu/ac) en comparación con la siembra de cultivos de cobertura anuales después de la cosecha de espelta (Barbercheck, 2016).

Algunos esfuerzos actuales de investigación en la producción orgánica de cultivos extensivos con labranza mínima incluyen:

- Investigación participativa con agricultores para desarrollar secuencias extendidas de cultivos orgánicos con siembra directa y una herramienta de toma de decisiones para el manejo adaptativo (Ryan et al., 2021; consulte también la Historia de la Finca 7).
- Cultivos perennes de doble uso para grano y forraje (kernza, centeno cereal perenne) con leguminosas intercaladas para rotaciones orgánicas de cultivos extensivos con labranza reducida (Culman et al., 2021).

Sistemas orgánicos de labranza mínima para cultivos de hortalizas

Los sistemas orgánicos de hortalizas con labranza mínima han logrado buenos rendimientos en climas más cálidos. Algunos ejemplos incluyen maíz dulce con labranza en franjas (strip till) en Maryland (MD) y cebolla verde en siembra directa sobre cáñamo de India (sunn hemp) cortado en Hawái (HI) (Chen et al., 2015), calabaza de verano y bok choy sobre cáñamo de India eliminado con rodillo compactador (roll-crimped sunn hemp) en Florida (FL) (Delate, 2015a), y calabaza de verano

y tomate después de centeno + trébol carmesí en Carolina del Sur (SC) (Robb y Zehnder, 2016).

Cubrir los cultivos de cobertura segados o manejados con rodillo compactador (roll-crimped) con lonas plásticas opacas o tela para paisajismo durante algunas semanas (ver Historias de Fincas 1 y 2) puede garantizar su eliminación, reducir la presión de malezas durante varias semanas después de retirar la lona y mejorar el rendimiento al calentar el suelo (Brust, 2015; McSwain, 2021; Rangarajan, 2021; Rangarajan et al., 2016). En un clima frío-templado (Maine, ME), la solarización con lonas transparentes aplicadas durante 10 a 30 días después de la terminación del cultivo de centeno + veza suprimió las malezas y mantuvo altos rendimientos de repollo orgánico (Smith, 2021).

Los agricultores orgánicos de hortalizas y los investigadores están explorando estrategias de labranza mínima para enfrentar las alteraciones climáticas que han dificultado la preparación del suelo y la siembra en el momento adecuado. En un proyecto de subvención para productores de SARE en la costa de Carolina del Sur (SC), la terminación de cultivos de cobertura con un rodillo compactador diseñado para camas elevadas, seguida del uso de lonas para la siembra sin labranza, duplicó los rendimientos de calabaza orgánica a pesar de lluvias extremas e irregulares que se alternaron con períodos de sequía (Connor, 2018). Otros equipos de investigación participativa con agricultores están explorando camas elevadas sin labranza con compost, cultivos de cobertura y uso de lonas para cultivar hortalizas orgánicas a pesar de las lluvias primaverales extremas en Iowa (IA) (Scheibel, 2022), así como sistemas de labranza reducida basados en cultivos de cobertura para mejorar la resiliencia ante eventos de lluvias extremas en Wisconsin (WI) (Genger, 2021).

Manejo Integrado de Malezas en la Producción Orgánica (IPM): lograr el mejor control de malezas con la menor alteración del suelo

El manejo de malezas sigue siendo una de las principales prioridades de investigación y una necesidad de asistencia técnica para los productores orgánicos (Snyder et al., 2022). Los esfuerzos actuales para desarrollar estrategias y tácticas innovadoras de manejo integrado de malezas en sistemas orgánicos (IPM) tienen como objetivo mejorar la eficacia y reducir la dependencia de la labranza, e incluyen:

Hidro-mulches biodegradables a base de



celulosa para la supresión de malezas en hortalizas de mercado, fresa y arándano (Gramig et al., 2021).

Zanahorias y hortalizas de hoja orgánicas sembradas directamente sobre mulch de tela biodegradable de base biológica y cubiertas con compost (Wortman, 2021).

Control eléctrico de malezas en lugar de labranza intensiva de pasillos en cultivos orgánicos de huerto y de arbustos bayas (Moretti et al., 2021).

Cultivador de alto residuo, electrocutador de malezas (weed zapper) y siega entre hileras para mejorar el control de malezas en la soya orgánica sin labranza sembrada en centeno aplastado con rodillo (Ryan et al., 2021).

Una segadora entre hileras diseñada por agricultores ha proporcionado suficiente control de malezas para sostener los rendimientos de soya orgánica sin labranza (Clark, 2019; Los, 2020).

Cultivos de cobertura perennes en los senderos de tránsito entre las camas de hortalizas para reducir la necesidad de labranza para el control de malezas y mejorar la salud del suelo (Hurisso et al., 2021; consulte también la historia de granja 1).

Herbicida permitido por el NOP (ácidos caprílico y cáprico) y aplicación selectiva de herbicida guiada por sensores en una rotación orgánica sin labranza de trigo/arveja de invierno de secano (Carpenter-Boggs, 2021).

Biocontroles integrados (hongo de la roya del cardo y ácaro de la agalla de la correhuela), cultivos de cobertura, rotación y cosecha estratégica de cultivos, y labranza estratégica limitada en lugar de labranza intensiva para controlar la correhuela de campo y el cardo canadiense en granos orgánicos de secanos (Carr et al., 2021).

"Apilamiento" (stacking) de múltiples herramientas de cultivo (escardillos, spyders, púas flexibles, torsión, dedos, escardadoras de bigote, etc.) para mejorar el control de malezas dentro de la hilera (Gallandt and Brainard, 2021).



Referencias

- Ariena H. C. van Bruggen, Isolde M. Francis, and Randy Krag. 2015. *El círculo vicioso de la enfermedad de la raíz acorchada de la lechuga: efectos del sistema de cultivo, el fertilizante nitrogenado y el herbicida*. Plant y suelo 388 (1-2): 119-132.
- Barbercheck, M. E. 2016. *Un conjunto de herramientas para la labranza reducida: enfoques alternativos para integrar cultivos de cobertura y labranza reducida en un sistema orgánico de producción de grano y forraje*. proyecto OREI 2014-51300-22231.*
- Barbercheck, M. E., W. Curran, J. Harper, R. Hoover, D. Voight, and G. Hostetter. 2014. *Mejora del manejo de malezas e insectos en sistemas de cultivo orgánicos con labranza reducida*. proyecto OREI 2009-51300-05656.*
- Barbercheck, M. E., D. A. Mortensen, H. Karsten, E. S. Sanchez, S. W. Duiker, J. A. Hyde, and N. E. Kiernan. 2008. *Manejo orgánico de malezas: equilibrio entre el control de plagas y la calidad del suelo en un sistema de transición*. proyecto ORG 2003-51106-02085.*
- Bhowmik, A. A-M. Fortuna, L. J. Cihacek, A. Bary, P. M. Carr, and C. G. Cogger. 2017. *Potencial de secuestro de carbono y ciclo del nitrógeno en sistemas de manejo orgánico a largo plazo*. Agricultura renovable y sistemas alimentarios, 32 (6): 498-510.
- Brust, G. 2014. *Control orgánico de malezas en sistemas de siembra directa*. https://extension.umd.edu/sites/extension.umd.edu/files/2021-03/OrganicWeedControlUsingNo-till_3-2014_0.pdf
- Caldwell, B., J. Liebert, and M. Ryan. 2016a. *Cultivo de soja orgánica en siembra directa sobre mantillo de cultivo de cobertura aplastado*. Blog *Novedades de los Cultivos*, vol. 26, n.º 5. (Sept-Oct, 2016). <http://blogs.cornell.edu/whatscroppingup/2016/09/29/on-farm-organic-no-till-planted-soybean-in-rolled-cover-crop-mulch/>
- Caldwell, B., C. Pelzer, and M. Ryan. 2016b. *Investigación sobre la siembra intercalada de cultivos de cobertura en Nueva York*. *Novedades de los Cultivos*, vol. 26, n.º 2. <http://blogs.cornell.edu/whatscroppingup/2016/03/15/cover-crop-interseeding-research-in-new-york/>
- Carpenter-Boggs, L. 2021. *Sistema de cultivo orgánico de siembra directa para las zonas de secano del Noroeste del Pacífico*. ORG project 2020-51106-32484.*
- Carr, P, F. Menalled, P. Miller, J. F. Gaskin, G. G. Gramig, I. C. Burke, A. Bekkerman, B. I. Grimberg, T. Seipel, K. B. Fuller, E. Glunk, Z. Miller, A. Formiga, T. W. Murphy, J. Eberly, and H. Estrada. 2021. *Alto a las rastreras: Integración de herramientas biológicas, culturales y mecánicas/físicas para la supresión a largo plazo de malezas perennes rastreras en sistemas de cultivo de las Grandes Llanuras del norte y el Noroeste del Pacífico*. OREI 2018-51300-28432.*
- Cavigelli, M. A., J. R. Teasdale, and J. T. Spargo. 2013. *Aumentar la diversidad de la rotación de cultivos mejora el desempeño agronómico, económico y ambiental de los sistemas orgánicos de cultivo de granos en el Beltsville Farming Systems Project del USDA-ARS*. Manejo de Cultivos 12(1), Actas del Simposio: Conferencia de Investigación en Sistemas de Agricultura Orgánica del USDA. <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1094/CM-2013-0429-02-PS>
- Chen, G., C. R. Hooks, M. Lekveishvili, K. H. Wang, K. H., N. Pradhan, S. Tubene, S., R. R. Weil, and R. Ogutu. 2015. *Impacto de los cultivos de cobertura y la labranza en la calidad del suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero, las plagas y la economía de campos en transición hacia la agricultura orgánica*. Proyecto ORG 2011-51106-31203.*
- Clark, K. 2019. *Sistemas orgánicos de manejo de malezas para Missouri*. proyecto OREI 2014-51300-22251.*
- Cogger, C., A. Bary, D. Collins, L. Myhre, and . Kennedy, Washington State University Puyallup Research and Extension Center. 2007. *Investigación sobre la calidad del suelo: experimento de sistemas de cultivo orgánico de hortalizas y evaluaciones en fincas*, octubre de 2007. https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/411/2014/12/Paper_IF-Sum_SQual1.pdf
- Connor M. 2018. *Método modificado para el sistema de siembra directa con rodillo-acondicionador en la Llanura Costera del Sureste*. Proyecto SARE FS16-288.*
- Culman, S. W., L. R. DeHaan, B. W. Ward, BA, V. R. Haden, C. D. Sprunger, CH, R. M Sulc, M. Ryan, and T. Crews. 2021. *Cultivos de grano perennes orgánicos de doble uso: vías hacia la rentabilidad y la salud del suelo*. Proyecto OREI 2019-51300-30255.*
- Curran, W. S., J. M. Wallace, and R. Hoover. 2014. *Lecciones aprendidas del experimento de sistemas orgánicos de labranza reducida*.



Delate, K. 2013. Desarrollo de sistemas orgánicos con balance positivo de carbono mediante labranza reducida y esquemas de rotación intensiva con cultivos de cobertura. Proyecto ORG 2008-51106-19021.*

Delate, K., C. Cambardella, and C. Chase. 2015a. Efectos de los cultivos de cobertura, las enmiendas del suelo y la labranza reducida sobre el secuestro de carbono y la salud del suelo en un sistema hortícola de largo plazo. Proyecto ORG 2010-51106-21857.*

Delate, K., C. Cambardella, C. Chase, and R. Turnbull. 2015b. Una revisión de ensayos comparativos orgánicos de largo plazo en Estados Unidos. *Investigación en Agricultura Sostenible* 4(3): 5-14.

Druille M, Cabello MN, Omacini M, Golluscio RA. 2013. El glifosato reduce la viabilidad de las esporas y la colonización radicular de los hongos micorrízicos arbusculares. *Ecología Aplicada del Suelo* 64:99–103; doi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0929139312002466?via%3Dihub>

Egan, F., and S. B. Nawa. 2021. Informe de indicadores de referencia de salud del suelo 2021. *Pasa Agricultura Sostenible*, 48 pp. <https://pasafarming.org/soil-benchmarks-2021>

Franzluebbers, A. J. 2018. Mineralización de carbono a corto plazo (también conocida como el «pulso de CO₂») como indicador de la salud biológica del suelo. *CAB Reviews* 2018 13, No. 017. doi: 10.1079/PAVSNNR201813017.

Gallandt, E. R., and D. A. Brainard. 2021. *Integración de estrategias culturales y mecánicas para mejorar el manejo de malezas en hortalizas orgánicas*. Proyecto OREI número 2018-51300-28426.*

Genger, R. 2021. Desarrollo de resiliencia ante eventos de lluvias extremas: estrategias de labranza reducida basadas en cultivos de cobertura para fincas hortícolas orgánicas diversificadas. Proyecto SARE LNC19-421.*

Gramig, G., S. P. Galinato, D. S. Bajwa, S. L. Weyers, L. W., DeVetter, and A. K. Formiga, 2021. *Mulch2o: hidro-acolchados compuestos biodegradables para una horticultura orgánica sostenible*. Proyecto OREI 2021-51300-34909.*

Gunstone, T., T. Cornelisse, K. Klein, A. Dubey, and N. Donley. 2021. Los plaguicidas y los invertebrados del suelo: una evaluación de riesgos. *Fronteras en Ciencias Ambientales*, 4 de mayo de 2021. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.643847>

Halvorson, A.D., B.J. Wienhold, and A.L. Black. 2002. Efectos de la labranza, el nitrógeno y el sistema de cultivo sobre el secuestro de carbono en el suelo. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(3): 906–912.

Hurisso, T. T., S. W. Culman, W. R. Horwath, J. Wade, D. Cass, J. W. Beniston, t. M. Bowles, A. S. Grandy, A. J. Franzluebbers, M. E. Schipanski, S. T. Lucas, and C. M. Ugarte. 2016. Comparación del carbono oxidable por permanganato y el carbono mineralizable para evaluar la estabilización y la mineralización de la materia orgánica. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 80 (5): 1352-1364.

Hurisso, T., T. M. Reinbott, T. Eaton, Y. Su, J. Patel, and C. Akotsen-Mensah. 2021. Estrategias de cultivos de cobertura y rotación de cultivos en sistemas orgánicos de producción de hortalizas para construir la salud del suelo y mejorar el rendimiento y la rentabilidad. Proyecto OREI 2021-51106-35674.*

Jagadamma, S. 2021. Diseño de rotaciones orgánicas de granos orientadas a los objetivos de los agricultores para optimizar los resultados agronómicos, económicos y ambientales en Tennessee. Proyecto ORG 2020-51106-32362.*

Johnson-Maynard, J. 2021. *Salud y manejo del suelo en sistemas orgánicos: identificación de metas significativas y vías hacia la resiliencia*. Proyecto ORG2020-51106-32358.*

Klein, K. 2019. Los plaguicidas y la salud del suelo. *Amigos de la Tierra*, 9 pp.

Kuepper, G., and J. Schahczenski. 2020. Reducción de la intensidad de la labranza en sistemas de producción orgánica. Boletín de ATTRA, Centro Nacional de Tecnología Apropiada, 12 pp. <https://attra-dev.ncat.org/wp-content/uploads/2022/08/IP183-organic-tillage.pdf>

Los, P. 2020. Siega entre hileras: control de malezas en cultivos en hilera orgánicos de siembra directa. Proyecto SARE FNC18-1134.*

McSwain, K. 2021. Evaluación de tecnología apropiada a la escala para la producción orgánica de hortalizas en siembra directa. Proyecto SARE OS19-129.*



- Menalled, F. 2019. Evaluación de la resiliencia de sistemas orgánicos integrados de cultivo y ganado bajo el clima actual y el previsto. Proyecto ORG 2015-51106-23970.*
- Mohler, C. L., J. R. Teasdale, and A. DiTommasso. 2021. Maneje las malezas en su finca: una guía de estrategias ecológicas. Serie de Manuales de SARE 16. 417 pp.
- Moncada, K, and C. Sheaffer. 2010. Guía de manejo de riesgos para productores orgánicos. Extensión de la Universidad de Minnesota, 300 pp. <http://organicriskmanagement.umn.edu/>
- Moretti et al., 2021. Desempeño y economía del control eléctrico de malezas en cultivos perennes orgánicos: un enfoque multirregional. Proyecto OREI 2021-51300-34911.*
- Morugán-Coronado, A., P. Pérez-Rodríguez, E. Insolia, D. Soto-Gómez, D. Fernández-Calvino, and R. Zornoza. 2022. El impacto de la diversificación de cultivos, la labranza y el tipo de fertilización sobre la abundancia microbiana, fúngica y bacteriana total del suelo: un metaanálisis mundial de sitios agrícolas. Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente 329, artículo 107867, mayo de 2022.
- Nicolas, V. N., N. Oestreicher, and C. Vélot. 2016. Múltiples efectos de una formulación comercial de Roundup® sobre el hongo filamentoso del suelo *Aspergillus nidulans* a dosis bajas: evidencia de un impacto inesperado en el metabolismo energético. Investigación en Ciencia Ambiental y Contaminación 23:14393–14404; doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6596-2>
- Norton, U., J. B. Norton, A. Garcia y Garcia, A., J. P. Ritten, S. J. DelGrosso, and G. W. Hergert. 2014. Dinámica del carbono y el nitrógeno del suelo en la producción orgánica de cultivos y forrajes de la ecorregión de las Altas Llanuras del Norte, Wyoming y Nebraska. Proyecto ORG 2010-51106-21805.*
- Pethybridge, S. J., and M. R. Ryan. 2021. Derribando las barreras a la producción orgánica de soja y frijol seco mediante un mejor manejo del moho blanco. Proyecto ORG 2018-51106-28775.*
- Prescott, C. E., Yi. Rui, M. F. Cotrufo, and S. J. Grayston. 2021. Manejo del carbono excedente de las plantas para generar materia orgánica del suelo en la agricultura regenerativa. Revista de Conservación de Suelos y Aguas 76(6): 99A-104A.
- Rangarajan, A. 2021. Uso de lonas para impulsar sistemas de labranza reducida en fincas hortícolas de pequeña escala. Proyecto SARE LNE19-382.*
- Rangarajan, A., M. T. McGrath, D. Brainard, Z. I. Szendrei, M. Hutton, E. Gallandt, M. Hutchinson, and B. J. Rickard. 2016. Sistemas diseñados por agricultores para reducir la labranza en hortalizas orgánicas. Proyecto OREI 2014-51300-22244.*
- Reberg-Horton, S. C. 2009. Nuevas herramientas para hacer realidad la soja y el maíz orgánicos en siembra directa. Proyecto SARE OS08-042.*
- Reeve, J., and E. Creech. 2015. *Efectos residuales del compost sobre la calidad del suelo y la productividad en trigo orgánico de secano*. <https://eorganic.org/node/14629>
- Robb, D. and G. Zehnder. 2016. Malezas, nitrógeno y rendimiento: medición de la eficacia de un sistema orgánico de siembra directa. Proyecto SARE GS13-126.*
- Ryan, M., M. I. Gomez, E. Silva, and S. J. Pethybridge. 2021. Eliminar la labranza de la producción orgánica de granos con ecología, herramientas y tecnología. Proyecto OREI 2020-51300-32183.*
- Scheibel, J. 2022. *Evaluación de sistemas de producción de hortalizas en camas elevadas y siembra directa para la rentabilidad, la eficiencia y la resiliencia de la finca*. Proyecto SARE FNC20-1249.*
- Shade, J. 2021. Cita del episodio 1 de «La verdad sobre la agricultura orgánica», serie de pódcast de 2021 presentada por Mallory Krieger y Nate Powell-Palm of the Organic Agronomy Training Service (OATS). <https://www.organicagronomy.org/resource-library/qp9zvú6dofmuyserz10vnaikqyxwcd-ka8ck-je6fz?rq=podcast>
- Sharratt, B., and G. Feng. 2009. Velocidad de fricción y rugosidad aerodinámica de la labranza convencional y con arado de cuchilla en el Columbia Plateau, Estados Unidos. Investigación en Suelos y Labranza 105: 236 – 241.
- Shrestha, D., O. Wendroth, and K. L. Jacobsen. 2019. Pérdida de nitrógeno y flujo de gases de efecto invernadero a lo largo de un gradiente de intensificación en



rotaciones horticolas diversificadas. *Ciclo de Nutrientes en Agroecosistemas*, <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10001-8>

Smith, R. 2021. Ampliación de la producción orgánica de hortalizas en siembra directa mediante la combinación de cultivos de cobertura de alto residuo y lonas de solarización. Proyecto SARE LNE18-371R.*

Snyder, L., M. Schonbeck, and T. Velez. 2022. *2022Agenda Nacional de Investigación Orgánica 2022: resultados y recomendaciones de las encuestas y grupos focales de 2020 a agricultores orgánicos y en transición*. Organic Farming Research Foundation (OFRF), 232 pp. <https://ofrf.org/research/nora/>

Sun H, P. Koal, D. Liu, G. Gerl, R. Schroll, A. Gatteringer, R. G. Joergensen, and J. C. Munch. 2016. La comunidad microbiana del suelo y los residuos microbianos responden positivamente a la labranza mínima bajo agricultura orgánica en el sur de Alemania. *Ecología Aplicada del Suelo*. 108:16-24.

USDA, Natural Resources Conservation Service, usin fecha. Índice de acondicionamiento del suelo. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2023-04/nrcs142p2_053273.pdf

Wallace, J. M., and M. E. Barbercheck. 2021. *Intensificación de la producción orgánica de granos: equilibrio entre los objetivos de producción y de conservación*. Proyecto OREI 2020-51300-32378.

Weil, R. 2021. Transición hacia la producción orgánica de granos: estrategias para maximizar la rentabilidad y los servicios ecosistémicos reduciendo los riesgos y las barreras. Proyecto ORG 2019-51106-30195.*

Wortman, S. 2021. Una innovación en acolchado de base biológica para espinaca y zanahoria orgánicas. Proyecto ORG 2020-51106-32380.*

Wortman, S., C. Francis, R. Drijber, and J. Lindquist. 2016. Mezclas de cultivos de cobertura: efectos de la diversidad y el método de terminación sobre las malezas, el suelo y el rendimiento del cultivo. Consejo de Cultivos de Cobertura del Medio Oeste https://www.midwestcovercrops.org/wp-content/uploads/2016/12/NE_2016_Cover-Crop-Mixtures_Effects-of-Diversity-and-Termination.pdf

Wozniacka, G. 2021. ¿Podrán los agricultores orgánicos de hortalizas de California descifrar los secretos de la agricultura de siembra directa? <https://civileats.com/2021/03/30/can-californias-organic-vegetable-farmers-unlock-the-secrets-of-no-till-farming/>

Ye, R. 2021. Diversificación de insumos orgánicos para mejorar el suelo que sustenta las hortalizas orgánicas en el sureste de Estados Unidos. Proyecto ORG 2020- 51106-32363.*

Zuber S. M., and M. B. Villamil. 2016. Enfoque de metaanálisis para evaluar el efecto de la labranza sobre la biomasa microbiana y las actividades enzimáticas. *Biología y Bioquímica del Suelo*. 97:176-187.

* Para consultar los informes OREI y ORG, utilice la función de búsqueda de la base de datos Gateway <https://nifa.usda.gov/data/data-gateway>. To access SARE project reports, visit the SARE project database at <https://projects.sare.org/search-projects/>

Este recurso fue creado por la Organic Farming Research Foundation (Fundación para la Investigación de la Agricultura Orgánica) como parte de un Acuerdo Cooperativo con el USDA-NRCS

Última actualización: febrero de 2025.

Contacto: communications@ofrf.org

