



Prácticas de Conservación y Salud del Suelo para Sistemas de Producción Orgánica

Manejo de Nutrientes Provenientes de Fuentes Orgánicas

Introducción

El manejo de los nutrientes de los cultivos, especialmente el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), para mantener los rendimientos deseados mientras se protegen el suelo, el agua y otros recursos, representa uno de los mayores desafíos para todos los agricultores y ganaderos. Los objetivos del manejo de nutrientes incluyen:

- Producción: optimizar la nutrición de los cultivos, el rendimiento y el retorno económico neto.
- Conservación: proteger la calidad del agua y del aire, y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Salud del suelo: proteger las funciones biológicas del suelo, incluyendo la retención y el ciclo de nutrientes.

El mejor manejo de nutrientes proporciona cantidades suficientes, pero no excesivas, de cada nutriente esencial para las plantas, conforme a los criterios establecidos en la Norma de Práctica para el Manejo de Nutrientes del NRCS:

"Maneje los nutrientes con base en las 4R de la administración responsable de nutrientes: aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis correcta, en el momento correcto y en el lugar correcto, para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes por parte del cultivo y reducir las pérdidas de nutrientes hacia las aguas superficiales, las aguas subterráneas y la atmósfera." (USDA, NRCS, CPS 590, mayo de 2019).

Los agricultores pueden "alimentar el cultivo" mediante fertilizantes solubles que suministran nutrientes en formas disponibles para las plantas, o "alimentar el suelo" con materiales orgánicos (a base de carbono) que requieren ser procesados por el microbioma del suelo para liberar nutrientes disponibles para las plantas (Figura 1). Con la aparición de los fertilizantes sintéticos a principios del siglo XX, algunos agricultores comenzaron a alimentar directamente a los cultivos, principalmente con los nutrientes "mayores": nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Los primeros practicantes del método orgánico

sostenían que "si alimenta el suelo, el suelo alimentará al cultivo". En un esfuerzo por simular el ciclo de nutrientes que ocurre en los ecosistemas naturales, se aplicaban residuos vegetales y animales (compostados o frescos) para aumentar la materia orgánica del suelo (MOS) y proporcionar una liberación lenta de nutrientes para las plantas a lo largo de la temporada de cultivo.



Los fertilizantes convencionales proporcionan principalmente NPK "puros", aunque las recomendaciones basadas en análisis de suelo pueden incluir nutrientes secundarios y micronutrientes, como azufre (S), boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn). El compost, el estiércol y otras fuentes de nutrientes de origen biológico, incluidos la mayoría de los fertilizantes permitidos por las normas del Programa Nacional Orgánico (NOP) del USDA (véase el recuadro), contienen cantidades variables de la mayoría de los nutrientes esenciales para las plantas, lo que puede ayudar a satisfacer las necesidades de azufre y micronutrientes de los cultivos. El calcio (Ca) y el magnesio (Mg) rara vez presentan deficiencias en suelos neutros (pH 7) y se aportan cuando los suelos ácidos reciben aplicaciones de cal.

Los participantes en los programas del NRCS generalmente utilizan una combinación de las estrategias de "alimentar el suelo" y "alimentar el cultivo" para alcanzar los objetivos de producción y conservación.

Reglamento del Programa Nacional Orgánico (NOP) del USDA

\$205.203 Norma de prácticas para la fertilidad del suelo y el manejo de nutrientes de los cultivos

"El productor debe manejar los nutrientes de los cultivos y la fertilidad del suelo mediante rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura y la aplicación de materiales de origen vegetal y animal...[gestionados] para mejorar el contenido de materia orgánica del suelo... [y para evitar] la contaminación de los cultivos, el suelo o el agua con nutrientes vegetales, organismos patógenos, metales pesados o residuos de sustancias prohibidas por el [NOP]."

Los productores orgánicos certificados por el NOP también pueden utilizar:

- Fuentes naturales de nutrientes de origen mineral.
- Un nutriente para cultivos o una enmienda para el suelo incluidos en la Lista Nacional de sustancias sintéticas permitidas.



Los productores orgánicos principalmente alimentan el suelo, no solo para cumplir con las normas del NOP, sino también para asegurar que el microbioma del suelo reciba suficiente carbono orgánico digerible para realizar funciones vitales, incluida la mineralización de los nutrientes de las plantas. Cuando se realiza de manera adecuada, el enfoque orgánico mejora la materia orgánica del suelo (MOS), la salud del suelo y el secuestro de carbono, y reduce las pérdidas de nutrientes, especialmente de nitrógeno (N) y fósforo (P), que pueden amenazar la calidad del agua y del aire y contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Desafíos del Manejo de Nutrientes en los Sistemas de Producción Orgánica

La liberación de nutrientes disponibles para las plantas mediada biológicamente es más difícil de predecir y controlar que el suministro de nutrientes mediante fertilizantes solubles, y la correspondencia entre el nitrógeno disponible para las plantas (NDP) y las necesidades del cultivo puede ser especialmente desafiante. Los rendimientos de los cultivos orgánicos pueden verse limitados por nitrógeno (N) cuando:

- La biología del suelo y la salud del suelo están por debajo del nivel óptimo.
- El campo se encuentra en los primeros años de transición de prácticas convencionales a prácticas orgánicas.
- Se aplican residuos orgánicos con una alta relación carbono-nitrógeno (C) (Figura 2A).
- Las condiciones del suelo frías, húmedas o cálidas y secas realentizan la actividad biológica.
- Se reduce la labranza, especialmente en climas más fríos o en suelos de textura fina.
- Se cultiva una planta con alta demanda de nitrógeno cuando las condiciones de suelo frío ralentizan la mineralización del nitrógeno. Algunos ejemplos incluyen las crucíferas sembradas en primavera y el maíz en climas más fríos.

Figura 1

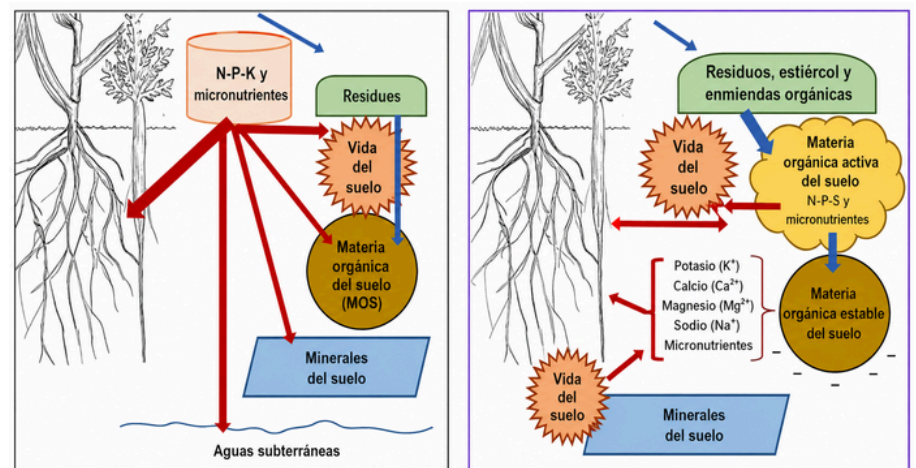


Figura 1A. Los fertilizantes solubles alimentan directamente a la planta, evitando la vida del suelo. Algunos nutrientes pueden perderse por lixiviación, fijación mineral o inmovilización a medida que los residuos se descomponen.

Figura 1B. Las fuentes orgánicas de nutrientes alimentan a los organismos del suelo, los cuales inicialmente retienen nitrógeno, fósforo, azufre y algunos micronutrientes en la fracción activa de la materia orgánica del suelo (MOS), y posteriormente los liberan gradualmente en formas disponibles para las plantas. La vida del suelo también forma una MOS estable, que aumenta la capacidad del suelo para retener potasio, calcio, magnesio y otros nutrientes catiónicos (con carga positiva) liberados de los residuos en descomposición y de los minerales del suelo.

Las flechas rojas muestran los flujos de nutrientes disponibles para las plantas, incluidos el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), fosfatos, sulfatos y cationes intercambiables. Las flechas azules muestran los flujos de carbono orgánico a medida que los microbios del suelo procesan los residuos.

A medida que las enmiendas orgánicas y las prácticas de salud del suelo aumentan la diversidad microbiana y la materia orgánica activa del suelo (MOS), también se incrementa el "nitrógeno potencialmente mineralizable" (NPM) del suelo, o su capacidad para suministrar nitrógeno a los cultivos. Además, algunos productores orgánicos utilizan fuentes concentradas de nutrientes, como la cama de aves de corral, para asegurar que los cultivos de alto valor reciban suficiente nitrógeno. Estas estrategias pueden conducir a una condición de "saturación de nitrógeno" que mantiene altos rendimientos, pero que puede provocar la lixiviación de nitrógeno hacia las aguas subterráneas y aumentar las emisiones del gas de efecto invernadero óxido nitroso (N_2O) (Li et al., 2009; Wander, 2015a) (Figura 2B). La incorporación mediante labranza de un abono verde compuesto exclusivamente por leguminosas también puede generar lixiviación de nitrógeno y emisiones de N_2O (Han et al., 2017; Teasdale, 2012).

La limitación de nitrógeno (N) en los cultivos y la lixiviación de N pueden ocurrir en la misma temporada si los microbios del suelo mineralizan el N demasiado rápido o demasiado lento para coincidir con la demanda del cultivo (Figura 3). Por ejemplo, en una rotación orgánica de brócoli-fresa en el centro de California, el nitrógeno de los residuos del brócoli se perdió debido a las lluvias invernales varios meses antes de que el cultivo de fresa pudiera utilizarlo (Shennan y Muramoto, 2016).



Otro desafío en el manejo de nutrientes surge cuando los productores orgánicos utilizan grandes cantidades de compost o estiércol para aumentar la materia orgánica del suelo (MOS) y el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) del suelo. Debido a que las cosechas extraen mucho menos fósforo (P) que nitrógeno (N) o potasio (K), depender principalmente de estas enmiendas para aportar materia orgánica y nitrógeno genera excedentes de fósforo (Tabla 1). El exceso de fósforo en el suelo puede:

- Inhibir hongos micorrízicos simbióticos de las raíces, que cumplen funciones vitales (Douds, 2009; Hamel, 2004).
- Retener zinc (Zn) y otros micronutrientes.
- Provocar escorrentía de fósforo hacia aguas superficiales.

El ambiente de los túneles altos presenta desafíos únicos, ya que las temperaturas elevadas y la producción intensiva aceleran la descomposición de la materia orgánica del suelo y pueden agotar ciertos nutrientes, especialmente el potasio (K). La exclusión de la lluvia permite la acumulación de sales cerca de la superficie del suelo, lo que puede afectar los rendimientos.

El uso intensivo de compost y fertilizantes orgánicos para mantener la materia orgánica del suelo y la fertilidad comúnmente resulta en excesos importantes de fósforo y, en ocasiones, en desequilibrios de otros nutrientes. Retirar el techo plástico para permitir la entrada de lluvia o realizar un riego abundante por aspersión puede lixiviar las sales, pero puede no corregir el exceso de fósforo.

Los exudados de las raíces de plantas vivas estimulan diez veces la actividad microbiana en su entorno inmediato (la rizosfera). ¿Puede esta actividad satisfacer las necesidades de nitrógeno del cultivo, reducir los insumos y proteger la calidad del agua? Los hallazgos recientes sugieren que sí puede hacerlo.

- Algunos campos de tomate en California, bajo manejo orgánico a largo plazo, mostraron un “ciclo de nitrógeno estrechamente acoplado”, con altos rendimientos de cultivos a pesar de los bajos niveles de nitrato-nitrógeno en el suelo (Bowles et al., 2015). Estos cultivos recibieron pequeñas dosis de nitrógeno orgánico concentrado aplicadas en la línea de siembra y obtuvieron la mayor parte de su nitrógeno mediante

Figura 2

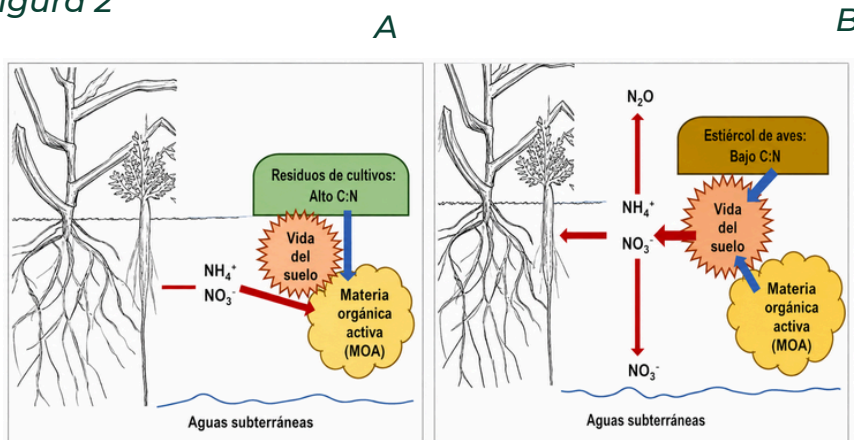


Figura 2A. Los residuos con alto contenido de carbono pueden inmovilizar el nitrógeno disponible para las plantas (NDP) y reducir los rendimientos de los cultivos, especialmente si la materia orgánica activa del suelo (MOS) es baja.

Figura 2B. El uso de cama de aves de corral en un suelo biológicamente activo con abundante materia orgánica del suelo (MOS) puede saturar el suelo con nitrógeno soluble, favoreciendo altos rendimientos, pero también generando riesgos para la calidad del agua y el clima.

Figura 3

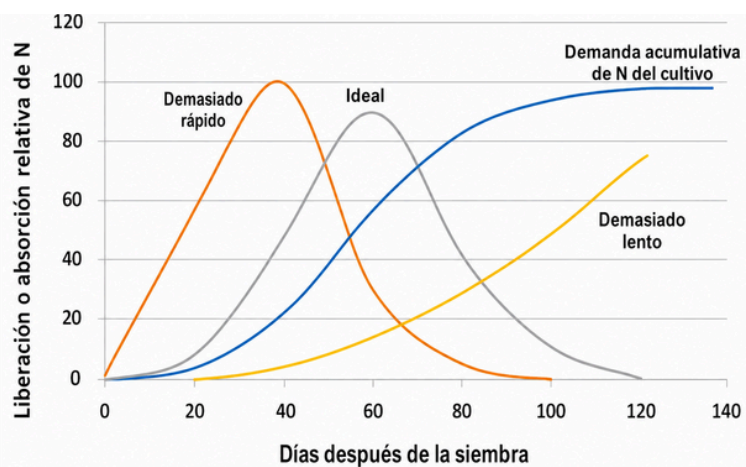


Figura 3. Un abono verde compuesto exclusivamente por leguminosas (baja relación C) puede liberar nitrógeno disponible para las plantas (NDP) antes de que el cultivo siguiente pueda utilizarlo, mientras que un cultivo maduro no leguminoso (alta relación C) libera nitrógeno demasiado lentamente. En ambos casos, el rendimiento del cultivo y la calidad del agua pueden verse afectados. Un cultivo de cobertura de múltiples especies con una relación C moderada puede ajustarse mejor a la demanda de nitrógeno del cultivo.

la mineralización microbiana de la materia orgánica del suelo (MOS) y del compost terminado.

- Las rotaciones de cultivos de campo orgánicos mejoraron la materia orgánica del suelo (MOS) en un suelo arenoso de Carolina del Sur y mantuvieron los máximos rendimientos utilizando la mitad del nitrógeno (N) recomendado y sin aplicar fósforo (P) ni potasio (K) (Kloot, 2018).
- El nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) del suelo y los

cultivos de cobertura de leguminosas y gramíneas de invierno han satisfecho completamente los requerimientos de nitrógeno de cultivos orgánicos de calabaza, tomate y maíz (Robb, 2015; Teasdale, 2012).

- Los suelos “alimentados” con rotaciones diversas, cultivos de cobertura y enmiendas orgánicas con una relación C moderada aumentan el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) y el ciclo de nutrientes (Bhowmik et al., 2017; Wander et al., 2016).



TABLA 1. EXTRACCIONES ESTIMADAS DE NUTRIENTES EN LAS COSECHAS DE CULTIVOS Y CONTENIDOS DE NUTRIENTES DE VARIAS ENMIENDAS DEL SUELO PERMITIDAS POR EL NOP.

RENDIMIENTO DEL CULTIVO (A)		NUTRIENTES EXTRAÍDOS EN LA COSECHA, LB/AC		
		N	P	K
Grano de maíz, 180 bu/ac (1)		134	27	30
Ensilaje de maíz (1,2)		200	35	164
Soya, 60 bu/ac (1)		213	21	56
Trigo, 80 bu/ac (1)		77	17	16
Heno de gramíneas-leguminosas, 5 toneladas/ac (3)		180	33	187
Cultivos hortícolas, rendimientos promedio de Illinois (4,6)		50	7	64
Cultivos hortícolas, rendimientos promedio de Oregon (5,6)		102	12	94
ENMIENDA ORGÁNICA (ANÁLISIS) (B)	DOSIS TÍPICA	NUTRIENTES APLICADOS, LB/AC		
		N	P	K
Compost de estiércol (1-1-1)	5 toneladas/ac	100	44	83
Fertilizante de cama de aves de corral (5-4-3)	1 tonelada/ac	100	35	50
Suelo agotado de cultivo de hongos (1.1-0.7-1.2)	5 toneladas/ac	110	31	100
Compost de origen vegetal (0.5-0.2-0.2)	10 toneladas/ac	100	17	33
Harina de plumas (13-0-0)	500 lb/ac	65	0	0
Sulfato de potasio (0-0-51)	150 lb/ac	0	0	63
Mezcla permitida por el NOP (10-2-8)	1,000 lb/ac	100	9	66

(A) Basado en la información proporcionada por:

- (1) Culman et al., 2019;
 (2) Iowa Extension, 2007;
 (3) Pennsylvania Extension, 2016;
 (4) Wander, 2015b; y
 (5) Heinrich et al., 2020.

Las tablas de nutrición en (6) Dunne, 1990 se utilizaron para estimar la extracción de nitrógeno por las cosechas de hortalizas.

(B) Los análisis de fertilizantes se expresan como N, P₂O₅ y K₂O. 1 lb de P₂O₅ = 0.44 lb de P; 1 lb de K₂O = 0.83 lb de K. El análisis real del compost y del suelo de cultivo de hongos varía.



Los agricultores orgánicos enfrentan varias barreras para lograr este escenario de “mejor manejo” de nutrientes:

- Las prácticas de salud del suelo que promueven un funcionamiento óptimo del microbioma del suelo, el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM) y el ciclo de nutrientes pueden implicar reducciones en el rendimiento durante los primeros años.
- El uso de fuentes concentradas de nutrientes orgánicos para mantener los rendimientos puede retrasar el desarrollo de esta capacidad, reducir la materia orgánica del suelo (SOM) y el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM), y perpetuar la dependencia de insumos (Bhowmik et al., 2017; Bowles et al., 2015; Wander et al., 2016).
- Los cultivares modernos de cultivos no han sido seleccionados por su eficiencia en el uso de nutrientes.

Además, las recomendaciones basadas en análisis de suelo no han sido calibradas para sistemas orgánicos. Las recomendaciones de nitrógeno basadas en el cultivo pueden ajustarse considerando los aportes de estiércol y abonos verdes de leguminosas (50 % del nitrógeno total), compost terminado (10–25 % del nitrógeno total) y estimaciones del nitrógeno disponible para las plantas derivado del suelo (~20 lb por cada % de SOM), y pueden afinarse mediante análisis de nitrato en suelo o tejido vegetal durante la temporada de cultivo (Collins et al., 2013; Lamb et al., 2014; Magdoff y van Es, 2021). Sin embargo, los análisis de laboratorio en ausencia de raíces de plantas no pueden detectar las interacciones entre raíces y microorganismos que proporcionan nitrógeno a los cultivos (Drinkwater, 2012; Jackson, 2010), y pueden llevar a los productores orgánicos a aplicar cantidades excesivas de nitrógeno.

Mejores Estrategias de Manejo de Nutrientes para la Producción de Cultivos Orgánicos

El manejo de nutrientes en sistemas orgánicos requiere un enfoque específico para cada sitio, basado en el tipo y la condición del suelo, el clima, el sistema de producción, las especies cultivadas y los recursos disponibles

Figura 4

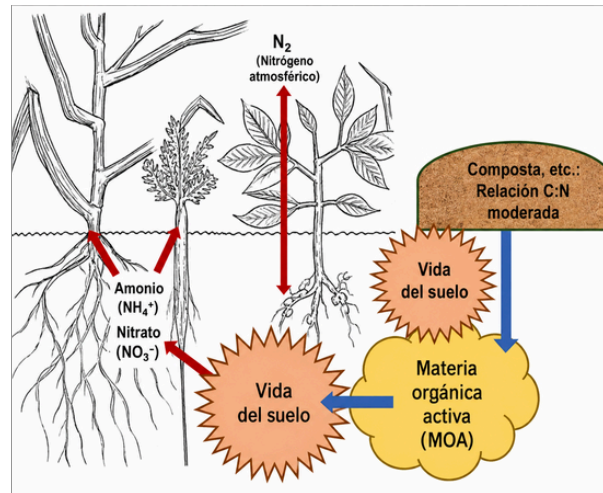


Figura 4. En suelos con un funcionamiento óptimo, el microbioma planta-suelo libera nitrógeno (N) cerca de la superficie de la raíz para una absorción rápida, sin saturar el suelo circundante con nitrógeno soluble, protegiendo así la calidad del agua. Las rotaciones diversas de cultivos que mantienen raíces vivas, incluyen leguminosas y utilizan enmiendas orgánicas con una relación carbono-nitrógeno (C) equilibrada pueden promover un ciclo eficiente del nitrógeno.

recursos, incluidos los de la finca y las fuentes cercanas de materia orgánica con nutrientes. Los productores orgánicos capacitados utilizan enmiendas orgánicas y minerales naturales para corregir deficiencias de nutrientes, mejorar la capacidad biológica del suelo para nutrir los cultivos y reponer los nutrientes extraídos durante la cosecha.

Algunos pasos básicos incluyen:

- Identificar los tipos de suelo de la finca utilizando el Estudio de Suelos del NRCS para comprender mejor las propiedades inherentes del suelo, sus fortalezas y sus limitaciones.
- Obtener un análisis estándar del suelo que incluya pH, % de materia orgánica del suelo (SOM) y macro y micronutrientes.
- Planificar y manejar los insumos para alcanzar niveles óptimos de nutrientes (generalmente “altos” en un informe de análisis de suelo) y reducir los excesos (“muy altos”), especialmente de fósforo (P) y potasio (K).
- Monitorear y manejar otros nutrientes, incluidos calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S) y micronutrientes.

- Monitorear el sodio (Na) y las sales solubles en suelos propensos a la salinidad y en túneles altos.
- Repetir los análisis de suelo cada 1 a 3 años para monitorear tendencias y ajustar los insumos.

Aplicar los Principios de Salud del Suelo del NRCS para mejorar el ciclo de nutrientes en la finca y reducir la necesidad de insumos (véase la historia de granja):

- Mantener el suelo cubierto y conservar raíces vivas para mantener los nutrientes en el campo:
 - Devolver al suelo todos los residuos orgánicos generados en la finca.
 - Incluir cultivos de raíces profundas para recuperar nutrientes lixiviados.
- Diversificar las rotaciones de cultivos para utilizar los nutrientes de manera eficiente:
 - Cultivar especies con necesidades nutricionales complementarias y diferentes arquitecturas radiculares.
 - Incluir leguminosas para fijar nitrógeno (N).



- Incluir una fase de pastizal perenne para restaurar la materia orgánica del suelo (SOM) y la salud del suelo.
- Integrar cultivos y ganado mediante pastoreo rotacional para distribuir el estiércol.
- Minimizar la alteración del suelo — labranza y fertilizantes concentrados— para proteger la vida del suelo.

Para ajustar el sistema de manejo de nutrientes orgánicos:

- Realizar análisis foliares de nutrientes para determinar el estado nutricional del cultivo.
 - Los cultivos vigorosos con niveles de nutrientes “suficientes” que muestran valores “medios” o “bajos” en un análisis de suelo indican un suelo saludable con un ciclo eficiente de nutrientes.
 - Los cultivos débiles con niveles de nutrientes “bajos” o “deficientes” que muestran valores “altos” en el análisis de suelo indican limitaciones como compactación, mal drenaje, baja materia orgánica del suelo (SOM), acidez o alcalinidad excesiva, o una biología del suelo reducida.
- Realizar ensayos comparativos lado a lado para evaluar el desempeño del cultivo con y sin una determinada enmienda de nutrientes, o con diferentes tasas de aplicación.
- Desarrollar un presupuesto de nutrientes para toda la finca. Una vez que la nutrición del cultivo parezca óptima, equilibrar los aportes de nutrientes y las extracciones esperadas de nutrientes por la cosecha (Tabla 1).

Manejo de nitrógeno y fósforo

El análisis estándar de suelo no informa el nitrógeno disponible para las plantas (NDP) y realiza recomendaciones de nitrógeno basadas en la absorción total esperada de N por un cultivo, generalmente de 50 a 180 lb/ac para la mayoría de los cultivos de hortalizas y granos. Este requerimiento de nitrógeno puede satisfacerse mediante la fijación de nitrógeno por leguminosas; la mineralización microbiana

de nitrógeno proveniente de residuos de cultivos, enmiendas orgánicas y materia orgánica activa del suelo (MOS); y fertilizantes.

Consejos para el mejor manejo del nitrógeno orgánico incluyen:

- Construir y mantener la capacidad biológica del suelo para proporcionar nitrógeno disponible para las plantas (NDP):
 - Reponer la materia orgánica del suelo (SOM) y el nitrógeno orgánico mediante cultivos de cobertura, compost y otras enmiendas.
 - Mantener una relación carbono-nitrógeno (C) equilibrada en los insumos orgánicos, aproximadamente de 20–25:1.
 - Evitar excesos de nitrógeno disponible para las plantas (NDP), fósforo (P) en el análisis de suelo, otros nutrientes y sales.
 - Comenzar con cultivos de menor demanda de nutrientes en terrenos agotados o en transición reciente hacia la producción orgánica.
 - Rotar hacia pastizales perennes de gramíneas-leguminosas para restaurar la vida del suelo y el nitrógeno potencialmente mineralizable (NPM).
- Estimar los aportes de nitrógeno provenientes de la mineralización de la materia orgánica del suelo (SOM), leguminosas, estiércol y compost. Aplicar fertilizante orgánico nitrogenado si es necesario para satisfacer la demanda esperada de nitrógeno del cultivo.
 - Utilizar fuentes concentradas de nitrógeno orgánico con moderación, aplicándolas en las hileras de cultivo mediante riego por goteo o fertirrigación localizada.
- Para proteger la calidad del agua y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):
 - Aplicar nitrógeno en pequeñas dosis en suelos arenosos y de drenaje rápido que sean susceptibles a la lixiviación.
 - Evitar aplicaciones de estiércol o la

incorporación mediante labranza de leguminosas en suelos húmedos o antes de lluvias intensas.

- Seguir la incorporación mediante labranza de una leguminosa con un cultivo de rápido crecimiento y alta demanda de nitrógeno, como el maíz.

Para ajustar las tasas de aplicación de nitrógeno:

- Realizar un ensayo sencillo de dosis de nitrógeno en una zona uniforme del campo.
- Analizar el nitrato-nitrógeno (N-NO₃) del suelo o del tejido vegetal en etapas críticas del desarrollo del cultivo.

Utilizar cultivos de cobertura para proporcionar y manejar nutrientes:

- Elegir cultivos de cobertura adecuados para la localidad y la temporada, y permitir que alcancen la madurez (altura completa y floración).
- Cultivar leguminosas para proporcionar nitrógeno cuando los niveles altos de fósforo (P) en el suelo limitan el uso de estiércol.
- Cultivar gramíneas o crucíferas de raíces profundas para recuperar nutrientes y proteger la calidad del agua.
- Sembrar una mezcla diversa para optimizar los niveles de nutrientes:
 - Las leguminosas prosperan y se establecen donde el nitrógeno disponible para las plantas (NDP) del suelo es bajo; las especies no leguminosas prosperan y retienen nitrógeno donde el NDP del suelo es alto (Drinkwater, 2011).
 - Las gramíneas de raíces profundas recuperan potasio (K) del subsuelo.
 - El trigo sarraceno y las leguminosas liberan fósforo “fijado” cuando el fósforo del análisis de suelo es bajo.
- Sembrar un cultivo de cobertura con alta relación carbono-nitrógeno (C), como el centeno, antes de una especie con alta capacidad de fijación de nitrógeno, como la soya.
- Sembrar leguminosas antes de cultivos con alta demanda de nitrógeno, como el maíz o el repollo.
- Sembrar cultivos de cobertura en túneles altos para reponer la materia orgánica del suelo (SOM) y el nitrógeno sin agregar fósforo (P) ni sales.



Historia de granja: cómo aumentar la MOS y fertilidad en un suelo arenoso

Elmwood Stock Farm, Georgetown, Kentucky

Elmwood Stock Farm, gestionada por John Bell, Ann Bell y Mac Stone, produce carne de res, cerdo, cordero, pollo y pavo, huevos y diversas hortalizas orgánicas certificados por el USDA, para una agricultura apoyada por la comunidad (CSA) de 800 familias y otros mercados. La finca incluye 350 acres de pastura permanente y 200 acres en una rotación de ocho años:

- Años 1-3 en hortalizas mixtas o granos forrajeros con cultivos de cobertura de invierno.
- Años 5-8 en pastura con pastoreo intensivo (mob grazing) multiespecie de uno a cuatro días, de tres a cinco veces al año.
- El heno producido en la finca se suministra en invierno sobre las tierras de cultivo.

Este sistema de cultivo y ganadería altamente integrado maximiza el ciclo de nutrientes dentro de la finca y mantiene una excelente salud del suelo. Las exportaciones de nutrientes se limitan a alimentos listos para preparar destinados a sus clientes. Venden carne (no animales enteros) y hortalizas limpias, devolviendo a la tierra todos los residuos y recortes. Los granos y el heno se producen para alimentar al ganado de la finca, que luego recicla cerca del 80 % de los nutrientes consumidos, distribuyéndolos de manera uniforme durante el pastoreo rotacional.

En un año típico, los agricultores compran solo dos toneladas de cada uno: sulfato de potasio y de piedra caliza de alto contenido de calcio para sus tierras de cultivo, y dos toneladas de sal Redmond y de un suplemento mineral/de concha de ostra/harina de pescado que añaden a la soya y el maíz cultivados en la finca para sus aves y cerdos. Los fertilizantes orgánicos se limitan a 300-400 lb de sólido 10-2-8 o 5-6-6 y 10 galones de líquido 3-1-1 para producir plántulas de hortalizas y para los cultivos de túnel alto.

Además de un enorme ahorro en insumos, el ciclo estrecho de nutrientes permite que Elmwood Stock Farm evite los excesos o el agotamiento de nutrientes que pueden ocurrir cuando la producción intensiva de cultivos y de ganado se separan una de otra, o cuando la producción orgánica de cultivos depende de estiércol y compost de fuentes externas a la finca para mantener la MOS y satisfacer las necesidades de N del cultivo.



Las vacas pastan de forma rotacional en Elmwood Stock Farm.



Use el estiércol, la gallinaza y el compost con criterio. Las aplicaciones ligeras funcionan de manera sinérgica con los cultivos de cobertura y las rotaciones para mejorar el ciclo de nutrientes y la salud del suelo. Para obtener los mejores resultados:

- Obtener un análisis completo de nutrientes para cada enmienda
- Ajustar las dosis de aplicación según el P del análisis de suelo
 - Si es bajo, usar estiércol o compost para aportar N y formar SOM
 - Si es óptimo, ajustar las dosis para igualar la extracción de P por la cosecha (Tabla 1)
 - Si es muy alto, evitar el estiércol o la gallinaza y usar compost de origen vegetal con moderación
- Para mejorar la SOM y el ciclo de nutrientes, usar estiércol compostado (lo mejor) o estiércol apilado en seco con cama, en lugar de purín (estiércol líquido)
- Combinar el purín o la gallinaza con materiales de alta relación C:N, o aplicarlos a cultivos de cobertura con alta demanda de N como el sorgo-sudán, el rábano o el centeno
- Por seguridad alimentaria, incorporar mediante labranza el estiércol sin compostar al menos 120 días antes de la cosecha del cultivo alimentario

Hallazgos seleccionados de investigación seleccionados sobre el manejo de nutrientes en sistemas orgánicos

Ciclo del nitrógeno

- Los campos de tomate orgánico con un ciclo de N estrechamente acoplado presentaron mayor SOM, actividad microbiana y actividades enzimáticas microbianas y vegetales asociadas a la absorción de N

que los campos orgánicos deficientes o saturados de N. Los hallazgos sugieren una sólida asociación planta-microbio que puede reproducirse en la mayoría de los cultivos (Jackson, 2013)

- En ensayos de hortalizas orgánicas, el suelo enmendado con compost maduro tuvo una SOM, una actividad enzimática y un PMN considerablemente mayores que el suelo enmendado con gallinaza (baja relación C:N) a la misma dosis de N. No obstante, el microbioma del suelo enmendado con compost inmovilizó el exceso de PAN, reduciendo así la lixiviación de N y las emisiones de GEI (Bhowmik et al., 2016, 2017).
- Los nematodos que se alimentan de bacterias desempeñan un papel importante en la mineralización del N y la nutrición vegetal, y también pueden provocar una liberación repentina de N lixiviable tras la incorporación al suelo de estiércol o de abono verde de leguminosas (Nahar et al., 2003; Ugarte y Zaborski, 2014). Mezclar cultivos de cobertura de gramíneas y leguminosas equilibra la relación C:N y reduce la lixiviación y las emisiones de GEI (Teasdale, 2012)
- En un sistema orgánico de doble cultivo de lechuga y brócoli en Salinas, California, agregar un cultivo de cobertura de invierno recuperó 100 lb/ac de N sobrante del brócoli y lo liberó al cultivo de lechuga siguiente, lo que mejoró notablemente los rendimientos (Brennan, 2018)
- El rábano captura N, P y K de los primeros cinco pies del suelo, pero sus residuos de baja relación C:N liberan el PAN rápidamente, por lo que debe ir seguido de un cultivo con alta demanda de N (Gruver et al., 2016).
- Las rotaciones que incluyen uno o más años de praderas perennes (sod) acumulan más SOM y PMN y lixivian menos N que las rotaciones compuestas únicamente por cultivos extensivos anuales (Delate et al., 2014; Moncada y Sheaffer et al., 2010; Spargo, 2012).
- En seis estados del norte, la siembra directa (no-till) sobre cultivos de

cobertura aplastados con rodillo (roll-crimped) mejoró la MOS activa, el PMN y la biomasa microbiana, pero redujo drásticamente los rendimientos del maíz orgánico, en parte por limitación de N (Delate, 2013).

- Los fitomejoradores están desarrollando nuevos cultivares para sistemas orgánicos, incluidos trigo eficiente en el uso de N, maíz que hospeda microbios fijadores de N en la rizósfera y cultivos de cobertura de leguminosas con mayor fijación de N y biomasa (Goldstein, 2015; Jones et al., 2011; Mirsky, 2020).

Desafíos del manejo de nutrientes en regiones semiáridas

- Las leguminosas perennes como la alfalfa pueden agotar la humedad del suelo y reducir los rendimientos de grano posteriores (Menalled et al., 2012).
- El chicharo de invierno aportó más N, biomasa y supresión de malezas, con menor agotamiento de la humedad que otras leguminosas anuales (Miller et al., 2009).
- Una única aplicación de 22 ton/ac (peso seco) de compost de estiércol duplicó la MOS y los rendimientos de trigo de secano durante 16 años (Reeve y Creech, 2015)

Manejo de nutrientes en cultivos frutales orgánicos

- La cobertura viva en el suelo de huertos o viñedos mejora la SOM, el PMN y la nutrición del cultivo, mientras que el barbecho con labranza limpia degrada la salud del suelo (Reeve, 2012; Azarenko et al., 2009).
- Los acolchados (mulches) orgánicos pueden mejorar la salud del suelo en cultivos frutales, pero pueden sobrecargar ciertos nutrientes y requieren un presupuesto cuidadoso (Rom, 2012).
- El arándano requiere suelo ácido (pH 5.0) y responde mejor al compost de origen vegetal que al compost de estiércol alcalinizante (Strik et al., 2015)



Recursos informativos sobre el manejo de nutrientes en la producción orgánica

NRCS Web Soil Survey: <https://websoilsurvey.nrcs.usda.gov/app/>

eOrganic <https://eorganic.org/> artículos y webinars:

Soil and Fertility Management in Organic Farming Systems <https://eorganic.org/menu/867>

Cover Cropping in Organic Farming Systems <https://eorganic.org/menu/872>

Organic Fruit Production Systems <https://eorganic.org/menu/1129>

Organic Grain Production Systems <https://eorganic.org/menu/1201>

Building Soils for Better Crops (Fred Magdoff and Harold Van Es, 2009, 294 pp)

<http://www.sare.org/Learning-Center/Books>

Organic Farming Research Foundation: <https://ofrf.org>

Recursos y materiales de aprendizaje de USDA Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) Manuales y boletines que incluyen:

Building Soils for Better Crops, 4th ed, 394 pp (F. Magdoff and H. Van Es, 2021)

Managing Cover Crops Profitably, 3rd ed, 244 pp (A. Clark, 2007)

Crop Rotation on Organic Farms, 154 pp (C. A. Mohler and S. E Johnson, 2009)

Using Organic Nutrient Sources, 16 pp (E. Sanchez, 2009)

Whole-Farm Nutrient Planning for Organic Farms, 16 pp (E. Sanchez, 2009)

<https://www.sare.org/resources/>

Cornell Organic Cropping Systems Trials:

<https://blogs.cornell.edu/scslab/organic-cropping-systems-trial/>

Risk Management Guide for Organic Producers: <https://organicriskmanagement.umn.edu/>

Estimating Plant-available Nitrogen Release from Cover Crops (D. M. Sullivan and N. D. Andrews, 2012):

<https://extension.oregonstate.edu/catalog/pub/pnw-636-estimating-plant-available-nitrogen-release-cover-crops>

Cómo utilizar la gestión adaptativa de nutrientes para responder a la pregunta "¿cuánto fertilizante se necesita realmente?".

NRCS webinar impartido por R. Kloot, 8 de Mayo de 2018:

<http://www.conservationwebinars.net/listArchivedWebinars>, busque "Kloot."



Referencias

- Azarenko, A.N., R. E. Ingham, D. D. Myrold, and C. F. Seavert. 2009. Ecological soil community management for enhanced nutrient cycling in organic sweet cherry orchards. Final report for ORG project 2005-04461. CRIS Abstracts.*
- Bhowmik, A. A-M. Fortuna, L. J. Cihacek, A. Bary, P. M. Carr, and C. G. Cogger. 2017. Potential carbon sequestration and nitrogen cycling in long-term organic management systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32 (6): 498-510.
- Bhowmik, A., A. Fortuna, L. J. Cihacek, A. I. Bary, and C. G. Cogger. 2016. Use of biological indicators of soil health to estimate reactive nitrogen dynamics in long-term organic vegetable and pasture systems. *Soil Biology and Biochemistry*, 103: 308-319.
- Bowles, T. M., A. D. Hollander, K. Steenwerth, and L. E. Jackson. 2015. Tightly-Coupled Plant-Soil Nitrogen Cycling: Comparison of Organic Farms across an Agricultural Landscape. *PLOS ONE*. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131888>.
- Brennan, E. 2018. Lessons from long-term, cover crop research in the Salad Bowl of the World YouTube video, <https://www.youtube.com/watch?v=JurC4pJ7Lb4>
- Collins, D., C. Myers, C. Cogger, and R. Koenig. 2013. Soil Fertility in Organic Systems: A Guide for Gardeners and Small Acreage Farmers <http://cru.cahe.wsu.edu/CEPublications/PNW646/PNW646.pdf>.
- Culman, S., et al., 2019. Nutrients Removed with Harvested Corn, Soybean, and Wheat Grain in Ohio. *Ohioline Ohio State University Extension*. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/anr-74>.
- Delate, K. 2013. Developing Carbon-Positive Organic Systems through Reduced Tillage and Cover Crop Intensive Crop Rotation Schemes. Final report for ORG project 2008-01284. CRIS Abstracts.*
- Delate, K., C. Cambardella, D. Jaynes, T. Sauer, R. Malone, and C. Chase. 2014. Enhancing farmland water quality and availability through soil-building crop rotations and organic practices. Final report for ORG project 2009-05499. CRIS Abstracts.*
- Douds, D. D. 2009. Utilization of inoculum produced on-farm for production of AM fungus colonized pepper and tomato seedlings under conventional management. *Biological Agriculture and Horticulture* 26: 353-364.
- Drinkwater, L. E. 2011. A Holistic View: Leguminous Cover Crop Management in Organic Systems. *The Natural Farmer*, Summer 2011, Special Supplement on Legumes as Cover Crops.
- Drinkwater, L. E. 2012. Soil Ecology: Implications of Recent Discoveries for Organic Agriculture. In *Northeast Organic Research Symposium Proceedings*, January 19-20, 2012, Saratoga Springs, NY, pp 59-60.
- Dunne, L. J. 1990. *Nutrition Almanac*, 3rd Edition. (Used to estimate N content of vegetables).
- Goldstein, W. 2015. Breeding corn for organic farmers with improved N efficiency/N fixation, and protein quality. *Proceedings of the Organic Agriculture Research Symposium*, LaCrosse, WI February 25-26, 2015. <http://eorganic.info/node/12972>.
- Gruver, J., R. R. Weil, C. White, and Y. Lawley. 2016. Radishes, a new cover crop for organic farming systems. <https://eorganic.org/node/4182>.
- Hamel, C. 2004. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. *Can J Soil Science*. 84(4):383-395.
- Han, Z., M. T. Walter, and L. E. Drinkwater. 2017. Impact of cover cropping and landscape positions on nitrous



oxide emissions in northeastern U.S. agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 245: 124-134.

Heinrich, A., J. Falen, and A. Stone. 2020. High soil test phosphorus and potassium levels on a long-term organic farm: trends, causes, and solutions. <https://eorganic.org/node/20735>.

Iowa State University Extension. 2007. Nutrient removal when harvesting corn stover. <https://crops.extension.iastate.edu/encyclopedia/nutrient-removal-when-harvesting-corn-stover>.

Jackson, L. 2010. Soil Microbial Nitrogen Cycling for Organic Farms. <https://eorganic.org/node/3227>.

Jackson, L. 2013. Researcher and Farmer Innovation to Increase Nutrient Cycling on Organic Farms. Proposal and final report for OREI project 2009-01415. CRIS Abstracts.*

Jones, S. S., B. K. Baik, L. Carpenter-Boggs, L., and B. J. Goates. 2011. Developing wheat varieties for organic agricultural systems. Final report for ORG project 2006-02057. CRIS Abstracts.*

Kloot, Robin. 2018. Using adaptive nutrient management to answer “how much fertilizer do you actually need?” NRCS webinar May 8, 2018. Science and Technology Training Library. <http://www.conservationwebinars.net/listArchivedWebinars>.

Lamb, J. A., F. B. Fernandez, and D. E. Kaiser. 2014. Understanding nitrogen in soils. U. Minnesota Extension bulletin AG-FO-3770-B,m 4 pp. <https://bwsr.state.mn.us/sites/default/files/2019-07/UnderstandingNitrogenCycleinSoils.pdf>.

Li, C., W. Salas, and J. Muramoto. 2009. Process Based Models for Optimizing N Management in California Cropping Systems: Application of DNDC Model for nutrient management for organic broccoli production. Conference proceedings 2009 California Soil and Plant Conference, 92-98. Feb. 2009. <http://ucanr.edu/sites/calasa/files/319.pdf>.

Magdoff, F., and H. van Es. 2021. Building Soils for Better Crops, 4th ed, 394 pp. <https://www.sare.org/resources/>.

Menalled F., C. Jones, D. Buschena, and P. Miller. 2012. From Conventional to Organic Cropping: What to Expect During the Transition Years. Montana State University Extension MontGuide MT200901AG Reviewed 3/12. <https://store.msuextension.org/>.

Miller, P. R., D. E. Buschena, C. A. Jones, B. D. Maxwell, R. E. Engel, F. Menalled, and B. J. Jacobsen. 2009. Organic Production in the Challenging Environment of the Northern Great Plains: from Transition to Sustainability. Final report for ORG project 2005-04477. CRIS Abstracts.*

Mirsky, S. B. 2020. Creating the cover crops that organic farmers need: delivering regionally adapted varieties across America. Final report for OREI project 2015-07406. CRIS Abstracts.*

Moncada, K. and C. Sheaffer, 2010. Risk Management Guide for Organic Producers. University of Minnesota, 300 pp. <https://organicriskmanagement.umn.edu/>.

Nahar, M. S., P. S. Grewal, S. A. Miller and D. Stinner. 2003. Effect of organic amendments on soil nematode community, microbial biomass and nutrient cycling. *Journal of Nematology* 35(3): 354-355.

Pennsylvania State University Extension. 2016. Soil Fertility Management for Forage Crops: Maintenance. <https://extension.psu.edu/soil-fertility-management-for-forage-crops-maintenance>.

Reeve, J. 2012. Organic and integrated orchard floor management. Presentation at 2nd International Organic Fruit Symposium; <https://eorganic.org/node/7967>.

Reeve, J., and E. Creech. 2015. Compost carryover effects on soil quality and productivity in organic dryland



wheat. <https://eorganic.org/node/14629>.

Robb, D. 2015. Weeds, nitrogen, and yield: measuring the effectiveness of an organic no-till system. Final report, Southern SARE project GS13-126. <https://projects.sare.org/search-projects/>.

Rom, C. 2012. Effect of Four Ground Cover Management Systems and Three Nutrient Sources on the Development and Performance of an Apple Orchard in the Southern Region. Presentation at 2nd International Organic Fruit Symposium. <https://eorganic.org/node/7967>.

Shennan, C. and J. Muramoto. 2016. Design and Management of Organic Strawberry/Vegetable Rotations. <https://eorganic.org/node/14819>.

Spargo, J. 2012. Soil fertility management in organic grain cropping systems, and Soil fertility management for organic wheat production. Carolina Organic Commodities and Livestock Conference 2012. <https://eorganic.org/node/7469>.

Strik, B., D. Bryla, and D. Sullivan. 2015. Organic blueberry production research project. <https://eorganic.org/node/5266>.

Teasdale, J. 2012. Optimizing the Benefits of Hairy Vetch in Organic Production. Webinar. <https://eorganic.org/node/7611>.

Ugarte, C. and E. Zaborski. 2014. Soil nematodes in organic farming systems. <https://eorganic.org/node/4495>.

USDA National Organic Program (NOP) Regulations. <https://www.ams.usda.gov/rules-regulations/organic>.

USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS). Conservation Practices <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/technical/cp/ncps/>. Practice Standard 590 Nutrient Management, May 2019.

Wander, M. 2015a. Soil Fertility in Organic Farming Systems: Much More than Plant Nutrition. <https://eorganic.org/node/787>.

Wander, M. 2015b. Nutrient budget basics for organic farming systems. <https://eorganic.org/node/3060>.

Wander, M., N. Andrews, and J. McQueen. 2016. Organic Soil Fertility. <https://eorganic.org/node/1471>.

** Para los informes finales de los proyectos OREI y ORG, ingrese el número de propuesta en "Grant No" y haga clic en "Search" en la página de búsqueda asistida de CRIS: <https://cris.nifa.usda.gov/cgi-bin/starfinder/0?path=crisassist.txt&id=anon&pass=&OK=OK>.*

Este recurso fue creado por la Fundación para la Investigación de la Agricultura Orgánica como parte de un Acuerdo de Cooperación con el USDA-NRCS.

Última actualización: febrero de 2025

Contacto: communications@ofrf.org

