ATTRA
Agricultura Sustentable
NCAT

Manejo de nutrientes en cereales orgánicos de grano pequeño

Escrito por
Susan Tallman,
Especialista en agricultura del NCAT
Publicado originalmente en 2012
Actualizado en mayo de 2026 por Lee Rinehart,
Especialista en agricultura del NCAT
©NCAT
SP391

ÍNDICE

2 Introducción
3 Nitrógeno
14 Fósforo
22 Calcio, magnesio y azufre
22 Micronutrientes
22 Conclusión
23 Ejemplo de estudio de caso
26 Recursos adicionales

La agricultura orgánica es un sistema integral que preserva y regenera los suelos, los ecosistemas y a las personas. La producción orgánica se centra en los procesos ecológicos y la biodiversidad, en lugar del uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, mediante una combinación de tradición, innovación y ciencia. La agricultura orgánica beneficia al medio ambiente y promueve una alta calidad de vida para las personas y los animales (IFOAM, 2008).

Lograr un alto nivel de fertilidad del suelo es de vital importancia para un agricultor orgánico de granos pequeños. Dado que los cultivos extraen nutrientes del suelo, estos deben reponerse para mantener el agroecosistema vivo. Los agricultores orgánicos de granos exitosos desarrollan un plan de cultivos y fertilidad del suelo que incluye principalmente nutrientes de fuentes biológicas locales, como los cultivos de cobertura y el estiércol del ganado. En ocasiones, cuando las fuentes biológicas son escasas, los agricultores pueden utilizar fuentes de fertilizantes orgánicos de origen mineral.

Esta publicación ofrece información específica sobre la producción orgánica de granos pequeños y se elaboró con el fin de ayudar a los agricultores a desarrollar un plan de fertilidad de cultivos orgánicos. Abarca los nutrientes principales (N, P y K), así como el Ca, el Mg, el S y los micronutrientes, e incluye cálculos y ejemplos para diversas fuentes de nutrientes.



Nutrientes se están aplicando en el campo. Foto: Clipart.com

Esta publicación es producida por el Centro Nacional de Tecnología Apropiada a través del programa de Agricultura Sostenible ATTRA, bajo un acuerdo de cooperación con Desarrollo Rural del USDA.

Introducción

El cultivo de granos pequeños orgánicos puede ser una actividad gratificante, tanto desde el punto de vista económico como filosófico. Los agricultores pueden disfrutar de precios más altos que los del mercado convencional y sentir satisfacción al aumentar su autosuficiencia, ya que utilizan menos insumos comprados que los agricultores convencionales.

RECURSOS RELACIONADOS DE ATTRA

Resumen de la producción orgánica de cereales de grano pequeño

Producción, economía y comercialización de legumbres orgánicas

Visión general de los cultivos de cobertura y los abonos verdes

Si bien la producción orgánica tiene muchos aspectos positivos, también presenta desafíos que requieren mayor cuidado y manejo en comparación con la producción convencional. Uno de esos desafíos es el manejo de nutrientes; en un sistema orgánico, muchos agricultores dan por alto este tema. Sin embargo, cuanto más tiempo lleva una granja en la producción orgánica, más importante se vuelve este aspecto. Un agricultor orgánico debe prestar especial atención a la gestión de la fertilidad del suelo en su sistema de cultivo de granos pequeños orgánicos. Sin esta atención, los rendimientos de los cultivos disminuirán con el tiempo y el sistema en su conjunto se volverá más susceptible a los ataques de enfermedades, insectos y malezas. La falta de atención a largo plazo a la fertilidad del suelo acabará en el fracaso de la granja.

Si bien la agricultura orgánica busca producir cultivos de una manera que imite los procesos biológicos naturales, sigue operando dentro de las limitaciones de un balance de nutrientes. En otras palabras, el cultivo extrae nutrientes del suelo, y estos nutrientes salen del sistema cuando se cosecha el grano. Si esto ocurre durante muchos años sin que se agreguen nutrientes, el suelo se agota y ya no producirá rendimientos satisfactorios. Este es el concepto básico del balance de nutrientes: los nutrientes se retiran en la cosecha y deben reemplazarse para garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

Las normas del Programa Nacional Orgánico

La norma §205.203 del Programa Nacional Orgánico (NOP) contiene los requisitos específicos de la Norma de Prácticas para la Fertilidad del Suelo y la Gestión de Nutrientes de los Cultivos, y puede consultarse en el sitio web del NOP en ams.usda.gov/rules-regulations/organic. Una versión parafraseada de esta norma podría ser la siguiente:

1. La labranza debe mantener o mejorar la salud del suelo y minimizar la erosión.
2. El agricultor debe administrar la fertilidad del suelo mediante rotaciones de cultivos, cultivos de cobertura y la aplicación de materiales vegetales y animales, como el estiércol o el compost/abono.
3. Estas adiciones de materiales vegetales y animales (estiércol y compost) deben contribuir a mantener o mejorar los niveles de materia orgánica del suelo y no pueden causar la contaminación de los cultivos, el agua o el suelo con patógenos, metales pesados o residuos prohibidos.
4. Existen requisitos específicos para la aplicación de estiércol no tratado que deben cumplirse.
5. El estiércol compostado debe procesarse de acuerdo con las normas específicas.
6. No es necesario compostar los residuos vegetales antes de aplicarlos al suelo.

Tabla 1: Absorción estimada de nutrientes en porciones cosechadas de cultivos de granos pequeños, Montana

Cultivo	Unidad	Peso de prueba, libras por bushel	N lbs	P_2O_5 lbs	K_2O lbs	Ca lbs	Mg lbs	S lbs	Fe lbs	Zn lbs	Mn lbs	Cu lbs	B lbs
Cebada – grano *(Hordeum vulgare*	bu	48	0.87	0.36	0.25	0.025	0.05	0.08		0.0015	0.0008	0.0008	0.001
Cebada – paja *(Hordeum vulgare)*	tonelada		14	4.10	30	7.6	2	3.8		0.045	0.30	0.01	
Trigo sarraceno *(Fagopyrum esculentum)*	bu	48	0.86	0.16	0.22								
Avena – grano *(Avena sativa)*	bu	32	0.60	0.24	0.17	0.024	0.04	0.06		0.0006	0.001	0.0004	
Avena – paja *(Avena sativa)*	tonelada		12.2	5.80	33	0.40	4.00	4.60		0.145		0.015	
Trigo – grano *(Triticum aestivum)*	bu	60	1.25	0.62	0.38	0.025	0.15	0.08		0.0035	0.002	0.0008	0.001
Paja de trigo *(Triticum aestivum)*	tonelada		14.5	3.60	25	4.4	2.20	3.7		0.03	0.11	0.007	

Nota: Estas cifras se basan en las pautas de Montana. Consulta con el servicio de extensión de tu estado para obtener estimaciones relevantes para tu ubicación específica.

Fuente: J. Jacobsen, G. Jackson y C. Jones. 2005. Pautas de fertilización para los cultivos de Montana. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Montana, n.º EB 161. págs. 24-25.

7. Los nutrientes aplicados pueden presentarse en diversas formas, entre ellas:
   a. Cualquier sustancia incluida en la Lista Nacional de Sustancias Permitidas y Prohibidas cuyo uso esté permitido en la producción agrícola orgánica.
   b. Una sustancia extraída de minas con baja solubilidad (p. ej., fosfato natural).
   c. Una sustancia de origen mineral de alta solubilidad, como el cloruro de potasio (KCl), siempre y cuando se utilice de conformidad con las condiciones de la Lista Nacional de Sustancias Permitidas y Prohibidas en lo que respecta a los materiales no sintéticos prohibidos para la producción agrícola.
   d. Cenizas de material vegetal o animal quemado, excepto:
      i. Material vegetal o animal tratado con una sustancia prohibida o que contenga dicha sustancia.
      ii. No se permite el uso de cenizas procedentes de la quema de estiércol.
      iii. La quema no puede utilizarse como método de eliminación de los residuos de cultivos.
   e. No se pueden utilizar los lodos de depuración (biosólidos).

Balances de nutrientes

Para mantener una fertilidad adecuada del suelo, es importante saber qué cantidad de nutrientes extrae cada cultivo del suelo. Con esta información, un agricultor puede calcular la cantidad de fertilizante necesaria para reponer esos nutrientes. La Tabla 1 muestra las tasas de extracción de nutrientes de algunos cultivos comunes de granos pequeños, incluido el trigo sarraceno. Consulta también la sección Recursos adicionales para acceder a una calculadora en línea que permite determinar las tasas de extracción de nutrientes para N, P y K.

Hay 17 elementos esenciales necesarios para el crecimiento sano de las plantas: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn) (Gilmour, 2009). El crecimiento de las plantas se verá limitado por el nutriente que sea menos disponible.

De estos nutrientes esenciales, los primeros nueve se consideran macronutrientes. Se necesitan en cantidades mucho mayores que los otros ocho nutrientes (micronutrientes). De estos nueve macronutrientes, el nitrógeno, el fósforo y el potasio son los tres más importantes, ya que se necesitan en cantidades mucho mayores en comparación con los demás.

Tabla 2: Recomendaciones de aplicación de nitrógeno para el trigo de invierno basadas en el análisis de suelo

Rendimiento potencial (bu/acre)	N disponible (libras/acre) Necesario
30	78
40	104
50	130
60	156
70	182
80	208
90	234

Fuente: J. Jacobsen, G. Jackson, C. Jones. 2005. Pautas de fertilización para los cultivos de Montana. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Montana, n.º EB 161. p. 20

Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de los cultivos. Es necesario para la síntesis de proteínas, se encuentra en la clorofila y es un componente clave de la transferencia de energía (Gilmour, 2009). De todos los elementos esenciales, el nitrógeno es el único que puede transformarse, a partir de la atmósfera, en una forma disponible para las plantas mediante la fijación. Todos los demás elementos esenciales deben añadirse desde fuera del sistema de cultivo mediante algún tipo de aporte directo.

Esta conversión del nitrógeno atmosférico tiene lugar en las bacterias rizobias presentes en las raíces de las leguminosas. Por lo tanto, los cultivos de abono verde de leguminosas son importantes para aportar nitrógeno y mejorar la salud del suelo en un sistema orgánico de cultivos de granos pequeños. La mayoría de los agricultores orgánicos de granos pequeños dependen de los cultivos de abono verde de leguminosas para obtener nitrógeno. Si bien los abonos verdes representan la fuente más común de nitrógeno para los cultivos orgánicos de granos pequeños, el estiércol animal también puede aportar cantidades sustanciales de nitrógeno orgánico.

Cálculo de las necesidades de nitrógeno

Para determinar la cantidad correcta de nitrógeno que se debe aplicar, un productor debe saber cuánto se necesita para producir el cultivo planeado y cuánto ya está disponible. Debido a que el nitrógeno es muy móvil y volátil, los balances de nitrógeno deben calcularse de nuevo para cada año de cultivo. Eexisten tres métodos principales para calcular las necesidades de nitrógeno: análisis de suelo, tasas de extracción del cultivo y niveles de proteína en el grano.

ANÁLISIS DE SUELO

Antes de cultivar granos orgánicos, haz un análisis del suelo de tu camposcampos para determinar el nivel de nitrógeno. Una vez que conozcas este nivel, podrás calcular cuánto nitrógeno debes aplicar para cumplir con los

Bob Quinn, un agricultor orgánico de Montana, varía la ubicación de los abonos verdes en su rotación de cultivos según los resultados anuales de los análisis de nitrógeno del suelo. Si los niveles de nitrógeno caen por debajo de un nivel específicoficantidad disponible, Quinn incorporará un abono verde en su rotación.

requisitos específicosfidel cultivo de manera adecuada.

En la Tabla 2, los niveles de los análisis de suelo de Montana se correlacionan con el potencial de rendimiento para obtener un firecomendación final de aplicación de nitrógeno. Consulte con su servicio de extensión local para conocer las pautas de fertilidad basadas en los resultados de los análisis de suelo de su zona.

A modo de ejemplo, supongamos que el potencial de rendimiento del trigo de invierno en una granja es de 50 bushel por acre. Un análisis de suelo realizado en otoño para determinar los niveles de nitrógeno (N) muestra que actualmente hay 70 libras de N por acre disponibles en el suelo. Dado que se necesitan 130 libras de N por acre son necesarias, el agricultor tendría que aplicar una cantidad adicional de 60 libras de N por acre para alcanzar el potencial de rendimiento. El análisis de nitrógeno en el suelo debe realizarse lo más cerca posible del momento de la aplicación de nitrógeno. Analice los niveles de N en el suelo en la primavera para un cultivo sembrado en primavera. Del mismo modo, analice los niveles de nitrógeno en el suelo en el otoño para un cultivo sembrado en otoño.

Tasas de extracción de cultivos

Otro método para calcular las necesidades de nitrógeno se basa en la tasa de extracción del cultivo. Este enfoque no requiere realizar un análisis de suelo. En su lugar, consiste en consultar una tabla de tasas de extracción

Cálculos para la eliminación de paja

Al calcular la tasa de extracción del cultivo, suma las tasas de extracción del grano y de la paja, si se indican por separado. Con el tiempo y la experiencia, un agricultor puede contabilizar con mayor precisión la extracción de paja según su situación específica, ya que, por lo general, no toda la paja se retira del campo. Recuerda que los nutrientes de la paja no siempre estarán disponibles para que el cultivo los absorba durante el primer año de descomposición.

Para calcular la cantidad de paja que se retira, primero calcula cuántas toneladas de paja se producen por acre. Consulta a la oficina estatal del NRCS para obtener estas estimaciones, ya que varían según la región.

El NRCS de Montana utiliza las siguientes estimaciones para calcular la cantidad de paja producida por acre en libras:

Cebada: Multiplica por 1.13 las libras de grano producidas por acre

Trigo de primavera: Multiplica por 1.33 las libras de grano producidas por acre

Trigo de invierno: Multiplica por 1.66 las libras de grano producidas por acre

Esta fórmula supone un peso específico de 60 libras por bushel para el trigo y de 48 libras por bushel para la cebada. (Engel et al., 2005).

Ejemplo de cálculo:

En Montana, se eliminan aproximadamente 14.5 libras de nitrógeno por cada tonelada de paja producida (Jacobsen et al., 2005). Suponiendo un rendimiento de 50 bushels por acre de trigo de invierno, se obtienen 3,000 libras de grano por acre (50 bu/acre x 60 lbs/bu):

3,000 libras por acre de grano × 1.66 = 4,980 libras de paja por acre

4,980 libras de paja por acre ÷ 2,000 libras por tonelada = 2.49 toneladas de paja por acre

2.49 toneladas de paja por acre × 14.5 libras de nitrógeno por tonelada de paja = 36.11 libras de nitrógeno por acre en la paja.

de cultivos y agregar la cantidad de fertilizante indicada. La ventaja de este método es el ahorro de tiempo y gastos que supone no tener que realizar un análisis de suelo. La desventaja es que no toma en cuenta los nutrientes ya presentes en el suelo y podría dar lugar a que se agreguen más nutrientes de los necesarios.

Para utilizar este método, consulta una tabla de tasas de extracción de nutrientes para tu zona y calcula cuánto nitrógeno se extrae en el cultivo de grano. Por ejemplo, supongamos que un cultivo de trigo de invierno produjo 50 bushels por acre. Según las instrucciones de fertilización para los cultivos de Montana (Jacobsen et al., 2005), el grano eliminará 1.25 libras de nitrógeno por bushel de grano, o 62.5 libras de nitrógeno por acre. Además, la paja eliminará aproximadamente 36 libras de nitrógeno por acre (véase el cálculo a continuación). Suponiendo que tanto el grano como la paja se retiren del campo, el sistema perderá alrededor de 99 libras de nitrógeno por acre de este cultivo.

Niveles de proteína en los granos

Algunos agricultores orgánicos evalúan las necesidades de nitrógeno de su suelo en función de los niveles de proteína del grano y prescinden de cualquier análisis de laboratorio del suelo. En Montana, cuando los niveles de proteína del grano de trigo de invierno bajan al 12 % y los del trigo de primavera al 13 %, los agricultores saben que es momento de agregar nitrógeno al suelo (Engel et al., 1999). Las diferentes regiones de los Estados Unidos tendrán distintos potenciales de niveles de proteína.

Ten en cuenta que si los niveles de proteína bajan tanto, el agricultor ya ha perdido dinero debido a la menor calidad del cultivo. Por lo tanto, este método para determinar las necesidades de nitrógeno no es el más adecuado desde una perspectiva económica.

Fuentes de nitrógeno orgánico

ABONOS VERDES

Las leguminosas fijan nitrógeno (N2) del aire y lo convierten en nitrógeno nítrico (NO3-) que las plantas pueden utilizar. Esto ocurre a través de una relación simbiótica con las bacterias rizobias que viven dentro de las células de la raíz. La mayoría de las rizobias son específicas de determinadas especies de leguminosas y deben aplicarse como inoculante junto con la semilla si no están presentes en el suelo.

Al administrar tu presupuesto de nutrientes, te interesará saber cuánto nitrógeno (N) aportará un abono verde de leguminosas al cultivo comercial posterior. A esto se le llama "valor de reemplazo de fertilizante". Esta cifra exacta es difícil de calcular, ya que depende de muchos factores ambientales que pueden variar de una temporada a otra. Las precipitaciones, la presencia de inoculantes, la fertilidad actual del suelo y otros factores pueden influir en la cantidad de nitrógeno que produce un cultivo de abono verde.

Tabla 3: Rendimiento total de nitrógeno y nitrógeno fijado estimado (libras/acre) de leguminosas anuales, Alberta, Canadá

Ubicación	Oyen	Provost	Trochu	Trochu	Rimbey
Año	1987	1987	1986	1987	1987
libras N/ac	libras N/ac	libras N/ac	libras N/ac	libras N/ac	
Guisante de campo Sirius *(Pisum sativum L.)*	10.7	42.8	71.3	47.2	26.7
Lenteja indiana *(Lens culinaris Medik.)*	6.2	7.13	40.14	35.7	17.84
Guisante plano de Tánger *(Lathyrus tingitanus L.)*	8.9	8.02	41	15	13.38
Promedio por sitio y año	8.9	19.6	50.8	33	19.6

Fuente: Abono verde con leguminosas. 1993. Gobierno de Alberta, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

AGUA DISPONIBLE

El agua disponible es el factor principal que determina la cantidad de nitrógeno que producirá un abono verde. Para ilustrar la amplia variación en la aportación de nitrógeno de las leguminosas con respecto al nivel de humedad del suelo, consulte la Tabla 3, derivada de una investigación realizada en Alberta, Canadá.

En este estudio, se cultivaron tres especies diferentes de leguminosas en cuatro sitios. Cada sitio presentaba características de suelo y clima distintas. Cabe destacar que la aportación de nitrógeno de una misma especie de leguminosa varió considerablemente entre los distintos sitios.

Por ejemplo, el guisante Sirius produjo entre 10.7 y 71 libras de N por acre. El estudio reveló que la diferencia se debía a las precipitaciones: el sitio de Trochu, que tuvo el mayor rendimiento, recibió mayores precipitaciones en 1986, mientras que el sitio de Oyen, que tuvo el menor rendimiento, recibió solo el 25 % de su precipitación normal en 1987.

Del mismo modo, en pruebas de campo recientes sobre sistemas de cultivo, la Universidad de Manitoba determinó las aportaciones de nitrógeno de las leguminosas anuales y perennes que se enumeran en la Tabla 4.

Tabla 4: Valor de reemplazo de fertilizantes (libras/acre) de diferentes leguminosas por cada 1,000 libras de materia seca producida

	Winnipeg	Carman
Alfalfa (Medicago sativa L.)	48	2.5
Trébol rojo (Trifolium pratense L.)	14	-33
Veza común (Lathyrus sativus L.)	28	53
Lenteja negra (Lens culinaris Medik.)	30	25

Fuente: Valor de reemplazo de los fertilizantes de los cultivos de abono verde de leguminosas. 2004. Universidad de Manitoba.

Tabla 5: Potencial de fijación de nitrógeno de diversas especies de leguminosas

Cultivo	Fijación total potencial de nitrógeno por acre
Trébol rojo *(Trifolium pratense L.)*	70 – 150 libras N/a
Trébol berseem *(Trifolium alexandrinum L.)*	100 – 200 libras N/a
Trébol dulce *(Melilotus officinalis (L.) Pall.)*	100 – 200 libras N/a
Trébol carmesí *(Trifolium incarnatum L.)*	70 – 150 libras N/a
Guisantes de invierno *(Pisum sativum L.)*	90 – 150 libras N/a
Alfalfa negra *(Medicago lupulina L.)*	100 – 200 libras N/a
Frijol de vaca *(Vigna unguiculata (L.) Walp.)*	100 – 150 libras N/a
Trébol subterráneo *(Trifolium subterraneum L.)*	100 – 200 libras N/a
Trébol blanco *(Trifolium repens L.)*	80 – 130 libras N/a

Fuente: «Managing Cover Crops Profitably», 3.ª ed., 2007. Red de Agricultura Sostenible.

Winnipeg tiene un suelo arcilloso pesado con precipitaciones adecuadas, mientras que Carman tiene un suelo franco arenoso con precipitaciones mucho menores. En la tabla se puede observar que los resultados varían considerablemente; de hecho, el trébol rojo incluso agota el nitrógeno del suelo en el sitio de Carman.

Además de influir en la cantidad de nitrógeno que produce el abono verde, la humedad

disponible del suelo también afectará la cantidad de nitrógeno que absorba el siguiente cultivo comercial. Este factor será fundamental en los estados secos de las Llanuras occidentales, donde la humedad del suelo es limitada.

Especies

La Tabla 5 muestra el nitrógeno fide diversas especies de leguminosas. Obsérvese que estos rangos son muy amplios y dependen por completo de factores locales, como las precipitaciones y el clima. Obsérvese también que los valores indicados corresponden a la fijación potencial de nitrógeno. Esta cifra suele ser mucho mayor que el valor real de reemplazo de fertilizante del nitrógeno producido, ya que un gran porcentaje del N queda retenido en la materia orgánica y no está disponible de inmediato para las plantas. Dado que estos valores tienen un rango tan amplio, es difícil determinar determinar la cantidad exacta de aporte de nitrógeno de cada especie en un entorno específico.

Siembra de un cultivo de abono verde

Mientras que los abonos verdes mejoran la salud del suelo y aportan nitrógeno al sistema, las semillas pueden ser difíciles de conseguir y, a menudo, son costosas. Asegúrate de contar con una fuente confiable de semillas antes de planificar tu rotación para el próximo año.

Momento y forma de terminación

En zonas con precipitaciones adecuadas, los abonos verdes deben eliminarse en plena floración. En esta etapa, la planta tendrá la mayor cantidad de materia seca, equilibrada con la mayor cantidad de nitrógeno en la planta. Si se termina más tarde de la floración plena, la leguminosa comenzará a trasladar nitrógeno a la vaina, donde está menos disponible para la mineralización. Si se termina antes de la floración plena, la planta no habrá alcanzado su potencial total de nitrógeno. La terminación también debe ocurrir antes de que el abono verde vaya a semilla para evitar que se convierta en una maleza en el cultivo siguiente.

En regiones semiáridas sin riego, las leguminosas deben eliminarse antes de la floración completa para conservar la humedad del suelo. Si se permite que el abono verde crezca hasta la floración completa en regiones semiáridas, puede consumir demasiada humedad valiosa del suelo y reducir los rendimientos del siguiente cultivo comercial. Los investigadores de la Universidad Estatal de Montana recomiendan eliminar el abono verde a más tardar a mitad de la floración, para conservar la humedad del suelo y, al mismo tiempo, obtener algún beneficio de nitrógeno para el suelo. La mitad de la floración se define como el período en el que 50 de cada 100 tallos tienen flores. En zonas con problemas hídricos más graves, tal vez sea necesario interrumpir el cultivo incluso al inicio de la floración, o cuando se observe alguna flor aislada —por lo general, menos de 10 flores por cada 100 tallos—.

Una investigación realizada en Canadá ha validado este delicado equilibrio entre el aporte de nitrógeno y el manejo de la humedad del suelo (Zentner et al., 2004). En un estudio, se cultivaron lentejas como abono verde en rotación con trigo durante 12 años. Durante los primeros seis años del estudio, las lentejas se eliminaron en plena floración, y el siguiente cultivo de trigo rindió un 26 % menos que los cultivos de trigo cultivados después de un barbecho convencional. Esta disminución se atribuyó a la reducción de la humedad del suelo, consumida por el cultivo de lentejas. Después de seis años, los investigadores modificaron los parámetros del estudio y comenzaron a eliminar el abono verde de lentejas más temprano en la temporada. También empezaron a gestionar la retención de nieve durante el invierno de manera más agresiva, dejando los rastrojos de grano lo más altos posible. Tras realizar estos cambios, los rendimientos del cultivo de trigo volvieron a la normalidad y el equilibrio de nitrógeno del suelo mejoró, lo que significa que las leguminosas proporcionaron suficiente nitrógeno para disminuir la cantidad de fertilizante nitrogenado requerida en comparación con el barbecho convencional.

Recursos adicionales

Saskatchewan cuenta con un buen sitio web sobre el abono verde con leguminosas.

Del mismo modo, la Universidad de Manitoba cuenta con un artículo informativo titulado *Ajuste de las recomendaciones de nitrógeno en los análisis de suelo para el nitrógeno de las leguminosas procedente de cultivos de legumbres*.

Estimación de la producción de nitrógeno del abono verde

Si la aportación de nitrógeno de las leguminosas es tan variable, ¿cómo podemos calcular su nivel de reemplazo de fertilizante? Suponiendo una inoculación adecuada, una buena nodulación y la ausencia de otros nutrientes limitantes, parece que la aportación de nitrógeno de una leguminosa está directamente relacionada con la producción de materia seca y el momento de la terminación. En general, cuanto mayor es el rendimiento de materia seca, mayor es el valor de fertilizante nitrogenado. En el estudio de Manitoba, los investigadores estimaron que por cada 1000 libras de alfalfa producida por acre (en base a la materia seca), el suelo recibía 48 libras de nitrógeno (Universidad de Manitoba, 2004). Dado que la producción de materia seca está estrechamente relacionada con las precipitaciones y la humedad del suelo, se deduce que las zonas secas recibirán menos aporte de nitrógeno que las zonas húmedas. Otros factores que influyen en la disponibilidad de agua incluyen el tipo de suelo, la evapotranspiración y la materia orgánica del suelo.

La Dra. Marianna Sarrantonio explica una buena forma de estimar la aportación de nitrógeno en el libro *Managing Cover Crops Profitably* (Clark, 2007):

1. Calcula la cantidad de materia seca por acre en el cultivo de leguminosas.

2. Multiplica por el porcentaje de nitrógeno en el cultivo

   a. Las leguminosas anuales tienen entre un 3.5 % y un 4 % de N antes de la floración, y entre un 3 % y un 3.5 % de N durante la floración.
   b. Las leguminosas perennes con tallos gruesos y leñosos tienen aproximadamente un 1 % menos que las estimaciones para las leguminosas anuales.

   Nota: Recuerda dividir entre 100 cuando utilices porcentajes. El 3 % equivale a 0.03.

3. Ahora divide entre:

   a. 2 si el abono verde se incorporará al suelo mediante labranza convencional

   b. 4 si se deja en la superficie en un clima del norte

   c. 2 si se deja en la superficie en un clima del sur

Ejemplo de cálculo de la aportación de nitrógeno mediante abono verde

Según esta fórmula, si cultiváramos un guisante de campo con 3,000 libras de materia seca por acre y lo eliminásemos mediante la labranza a mitad de la floración, se aportarían al sistema aproximadamente 45 libras/acre de N para el siguiente cultivo comercial.

3,000 libras de materia seca por acre x 0.03 de nitrógeno = 90 libras de nitrógeno

90 libras de nitrógeno / 2 = 45 libras de nitrógeno por acre

Utilice Rhizobium no transgénico

Tenga en cuenta que el Rhizobium utilizado para inocular las semillas de su abono verde debe cumplir con las normas orgánicas si su operación cuenta con certificación orgánica. Existen algunas cepas de Rhizobium en el mercado que son transgénicas y, por lo tanto, no están permitidas según las regulaciones del NOP. Además, de vez en cuando el musgo de turba (peat moss) que se utiliza para producir y transportar los inoculantes está irradiado y, por lo tanto, no está permitido según la sección §205.105(f) del NOP. Consulta con tu organización certificadora antes de comprar inoculantes.

Nitrógeno residual

Es importante tener en cuenta que las leguminosas utilizarán el nitrógeno residual del suelo antes de producir nitrógeno mediante la fijación. En el mejor de los casos, una leguminosa fijará hasta el 80 % de su propio nitrógeno y obtendrá el resto del suelo (Clark, 2007). Por lo tanto, al planificar una rotación de cultivos, no siembres una leguminosa después de una aplicación abundante de estiércol. En esta situación, el nitrógeno fijado que se obtenga de la leguminosa será insignificante.

MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

Los beneficios de la materia orgánica para la fertilidad del suelo son dos. En primer lugar, el material vegetal en descomposición aporta nutrientes al suelo. En segundo lugar, la fracción de humus de la materia orgánica proporciona sitios de intercambio catiónico, de manera similar a la arcilla.

En general, "el suelo liberará entre 10 y 40 libras de nitrógeno por acre por cada 1 % de materia orgánica que se descomponga" (Clark, 2007). Podemos estimar esta cantidad mediante los siguientes cálculos:

La "cuenta bancaria" renovable de nutrientes de la materia orgánica del suelo

- En las primeras 6 o 7 pulgadas de suelo = 2,000,000 libras de suelo por acre
- 1 % de SOM = aproximadamente 10,000 libras de carbono, 1,000 libras de nitrógeno, 100 libras de fósforo y 100 libras de azufre
- Tasa de mineralización = 2-3 % de nitrógeno orgánico a nitrógeno inorgánico, proceso que no se detiene en el momento de la cosecha
- Lo que da como resultado entre 20 y 30 libras de nitrógeno aprovechable por acre por cada 1 % de materia orgánica del suelo (Brady, 1990)

FUENTES DE NITRÓGENO ORGÁNICO: ESTIÉRCOL ANIMAL

Otra fuente de nitrógeno orgánico es el estiércol animal. El uso del estiércol animal en un sistema de cultivo ofrece varias ventajas. El estiércol animal aporta nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y micronutrientes al suelo. No agota el agua disponible del suelo como lo hacen los abonos verdes, y se puede cultivar un cultivo comercial el mismo año en que se aplica el estiércol. Además, la cantidad de nitrógeno aportada por el estiércol animal es mucho más fácil de calcular que la cantidad de nitrógeno aportada por el abono verde.

La desventaja de usar estiércol animal es que puede resultar difícil o costoso obtener la cantidad necesaria para las granjas de granos orgánicos a gran escala. El estiércol seco raspado o el estiércol compostado permiten un transporte relativamente más asequible, mientras que el estiércol líquido, común en la producción lechera y porcina, se diluye con agua y debe transportarse en camiones cisterna. Los agricultores de regiones con operaciones de alimentación animal intensiva pueden tener mayor disponibilidad de estiércol. De hecho, ciertas regiones de los EE. UU. cuentan con más nutrientes de estiércol disponibles de los que los cultivos locales pueden utilizar a una tasa agronómica (USDA – NRCS, 1987). Debido a preocupaciones por la calidad del agua, el uso de estiércol en estas áreas se supervisa de cerca.

Normas orgánicas para la aplicación de estiércol

Al utilizar estiércol animal para la producción agrícola, es importante conocer las normas específicas de agricultura orgánica que rigen su uso. Las normas del Programa Nacional Orgánico (NOP) clasifican el estiércol en varias categorías: estiércol crudo, estiércol procesado (seco), estiércol compostado y guano (NOP, 2010). A continuación se presentan algunos puntos que se deben tener en cuenta al utilizar estos materiales:

- El estiércol no tiene que provenir de ganado orgánico para poder utilizarse en tierras de cultivo orgánico. Sin embargo, el estiércol no puede ser fuente de organismos patógenos, metales pesados ni residuos de sustancias prohibidas. Si un organismo certificador tiene dudas respecto a la calidad del estiércol, puede solicitar al agricultor que presente los

resultados de los análisis para demostrar que el estiércol no está contaminado.

- El estiércol crudo debe incorporarse al suelo al menos 90 días antes de la cosecha de un producto cuya parte comestible no entre en contacto directo con el suelo. La mayoría de los granos pequeños entrarían en esta categoría. Si la parte del grano entra en contacto con el suelo antes de la cosecha, por ejemplo, después de la siega, el plazo se modifica a una incorporación al suelo de al menos 120 días antes de la cosecha.
- Tenga en cuenta que el estiércol sin tratar debe incorporarse al suelo y no dejarse en la superficie.
- El estiércol compostado se puede aplicar en cualquier momento de la temporada de crecimiento, sin necesidad de incorporarlo al suelo. Para que el estiércol se considere compost, se deben cumplir los requisitos específicos de compostaje en cuanto a tiempo, volteo y temperatura.
- El estiércol procesado o seco puede utilizarse de la misma manera que el estiércol compostado, sin necesidad de un intervalo de tiempo ni de incorporarlo al suelo. Para cumplir con esta norma, el estiércol debe secarse hasta alcanzar un contenido máximo de humedad del 12 % a una temperatura mínima de 150 °F durante una hora (OMRI, 2009).
- El guano se considera una forma de abono natural, con las mismas limitaciones en cuanto al momento de aplicación y la necesidad de incorporarlo al suelo.
- En la producción orgánica no se permite el uso de lodos ni de residuos municipales.

El estiércol sin tratar puede aumentar la población de malezas al esparcir sus semillas en el campo. Sin embargo, el estiércol líquido

Tabla 6: Nutrientes en el estiércol sólido: valor fertilizante aproximado del estiércol procedente de sistemas de manejo de estiércol sólido

Animal	Cama o lecho	% Seco	Nitrógeno amoniacal	N total	P_2O_5	K_2O
			libras por tonelada de residuos sin procesar			
Porcino	No	18	5	11	8	5
	Sí	18	4	9	7	7
Carne de res – corral abierto de concreto	No	15	4	11	7	10
Carne de res – terreno abierto sin pavimentar	No	52	7	21	14	23
	Sí	50	8	21	18	26
Productos lácteos	No	18	3	9	3	6
	Sí	21	4	9	3	6
Oveja	No	28	5	18	11	26
	Sí	28	5	14	9	25
Aves de corral	No	45	8	33	48	34
	Sí	75	10	47	48	30
	Foso profundo	76	12	38	45	25
Pavo	No	20	8	20	40	17
	Sí	25	8	22	45	18
Caballo	Sí	46	4	14	4	14

Fuente: Manual de instalaciones para residuos ganaderos. Tercera edición. 1993. MidWest Plan Service. Tabla 10-6.

Nota: Estos valores son solo para fines de planificación. Analice todo el estiércol antes de usarlo para obtener resultados precisos.

aplicado en bandas bajo la superficie tiende a generar menos malezas que las aplicaciones a voleo. Si se produce correctamente, el estiércol compostado puede introducir menos malezas que el estiércol fresco, ya que el calor generado en la pila puede matar las semillas de malezas (Blackshaw, 2005).

Recursos adicionales

Estercos para la producción agrícola orgánica, ATTRA

Análisis y aplicación de estiércol

Para obtener los resultados más confiables al aplicar estiércol, se debe analizar su contenido de nutrientes en un laboratorio. Las cantidades de nutrientes variarán según la alimentación de los animales, el lecho, la edad y el tipo de estiércol, así como las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, se pueden utilizar los valores de las tablas estándar para obtener una estimación aproximada del contenido de nutrientes. Al trabajar con un laboratorio, solicita que los resultados se expresen en equivalentes de fertilizante, como libras por tonelada, y no en partes por millón. También puede ser útil recibir los resultados en forma de P_2O_5, K_2O y TKN (nitrógeno total de Kjeldahl).

Recursos adicionales

Para encontrar un laboratorio de análisis de estiércol en tu zona, ponte en contacto con tu agente de extensión local, un asesor agrícola o la oficina del NRCS.

Al aplicar estiércol como fuente de nitrógeno, hay que tener en cuenta que "no más de la mitad del contenido de nitrógeno estará disponible en la primera temporada (entre el 25 % y el 50 %), y la otra mitad se dividirá entre el valor residual y la pérdida a la atmósfera (volatilización)" (Bass, 2008). Este remanente no se divide de manera uniforme entre el valor residual y la volatilización, y depende en gran medida del clima local. Por ejemplo, en climas húmedos, la mayor parte del nitrógeno residual se volatilizará. El NRCS cuenta con factores útiles para el nitrógeno residual y puede ayudarte con los cálculos para tu región (Bass, 2010).

Debido al riesgo de lixiviación y/o volatilización, es importante elegir el momento adecuado para la aplicación. "El estiércol debe aplicarse lo más cerca posible del momento en que el cultivo utiliza los nutrientes" (Bass, 2008). En el caso de los cereales de invierno, la aplicación podría realizarse a principios del otoño. Sin embargo, en el caso de los cereales de primavera, la aplicación de estiércol debe realizarse en la primavera, antes de la siembra.

Además, el estiércol debe incorporarse lo antes posible después de su aplicación. "La incorporación es necesaria para evitar una volatilización significativa y maximizar la disponibilidad de nitrógeno. La incorporación debe realizarse entre 1 y 4 días después de la aplicación y, además, reduce los olores" (Bass, 2008).

Para calcular la cantidad de nitrógeno que un campo recibirá del estiércol, simplemente multiplica el valor total de N del estiércol por la tasa de aplicación. A modo de ejemplo, supongamos una tasa de aplicación de 2 T/acre de estiércol de ganado de carne con un 52 % de materia seca. En la Tabla 6 vemos que cada tonelada contiene 21 libras de nitrógeno total. Por lo tanto, 2 toneladas de estiércol aportarían 42 libras de nitrógeno total por acre. Utilizando una estimación conservadora de que el 35 % de este nitrógeno estará disponible, el estiércol aportará aproximadamente 15 libras de nitrógeno por acre para el siguiente cultivo de granos.

Ejemplo de cálculo:

21 libras de nitrógeno total / 1 tonelada de estiércol × 2 toneladas de estiércol por acre = 42 libras de nitrógeno por acre

42 libras de nitrógeno por acre × 0.35 = 15 libras de nitrógeno por acre

Existen regulaciones federales y estatales que establecen la gestión y aplicación adecuadas del estiércol en tierras de cultivo, aunque la mayoría de estas normas se aplican específicamente al productor del estiércol y a las tierras bajo su control, no a usuarios secundarios o terciarios. Sin embargo, los principios generales de la Ley de Agua Limpia se aplican a todos, y se deben seguir las mejores prácticas de manejo (BMP), tales como el momento de la aplicación, la incorporación, el balance de nutrientes y las zonas de amortiguación o de seguridad, para proteger los recursos hídricos. Los agricultores que importan estiércol están sujetos a normas relativas al almacenamiento o apilamiento adecuado antes de su aplicación. Las pilas de estiércol deben gestionarse para evitar la lixiviación o la escorrentía. Tenga en cuenta que las pilas no gestionadas pueden ser declaradas como fuente puntual de contaminación por parte de las agencias reguladoras.

Antes de determinar las dosis de aplicación para tu terreno, comunícate con tu oficina local de Extensión o del NRCS para asegurarte de que cumples con las regulaciones o las prácticas recomendadas. Tenga en cuenta que una aplicación excesiva puede provocar la contaminación de las cuencas hidrográficas. Además, la aplicación repetida a largo plazo de estiércol basada únicamente en el balance de nitrógeno a menudo puede provocar un exceso de fósforo en el suelo. Existen regulaciones estrictas sobre la cantidad de estiércol que se puede aplicar, basadas en análisis de suelo y en la absorción prevista por los cultivos. Consulte al NRCS, a la Extensión Agrícola o al Departamento de Calidad Ambiental de su estado para conocer las regulaciones específicas de su zona.

Recursos adicionales

Si necesita ayuda más detallada, póngase en contacto con su agente local de Extensión, con el NRCS o visite estos sitios web útiles:

- El estiércol como fuente de nutrientes para los cultivos y enmienda del suelo. 2009. eXtension.
- Programa de interpretación de análisis de suelos y apoyo a la toma de decisiones sobre fertilizantes de Oklahoma. Universidad Estatal de Oklahoma. Incluye una calculadora para determinar el valor del estiércol animal.
- Calculadora del valor de los desechos animales. Universidad Estatal de Oklahoma.
- Contenido de nutrientes de los materiales fertilizantes en Alabama. ANR-174. 2008. Charles C. Mitchell, Extensión Cooperativa de Alabama.
- Economía de los desechos animales y el estiércol. William Lazarus. Universidad de Minnesota.

NITRATO DE SODIO

El nitrato de sodio, o nitrato chileno, es una fuente de nitrógeno de origen minero cuyo uso está permitido, con restricciones, en la producción de cultivos orgánicos. Si bien se trata de una sustancia natural de origen minero, es una sal con alta solubilidad; por lo tanto, existen restricciones para su uso. Las normas del NOP establecen que el "uso del nitrato de sodio está restringido a no más del 20 % del requerimiento total de nitrógenodel cultivo..." (NOP, 2010; énfasis añadido).

Un ejemplo de cálculo muestra cómo podría funcionar esto. Supongamos que cultivas trigo orgánico en Montana con un rendimiento normal de 50 bu/acre. Según la "Guía de fertilización para cultivos de Montana" en la Tabla 1 (Jacobsen et al., 2005), sabes que el requerimiento total de nitrógeno para este cultivo es de 104 lbs N/acre. Por lo tanto, el nitrógeno obtenido del nitrato de sodio no puede superar aproximadamente las 20 libras por acre.

Ejemplo de cálculo

104 libras de N por acre × 0.20 = 20.8 libras de N por acre

La fórmula química del nitrato de sodio es $NaNO_3$. Dado que la composición química del nitrato de sodio contiene solo alrededor del 16 % de nitrógeno, la dosis de aplicación para este cultivo podría llegar a ser de hasta 130 libras por acre.

20.8 libras de N por acre =130 libras de $NaNO_3$ por acre

0.16 libras de N por libra de $NaNO_3$

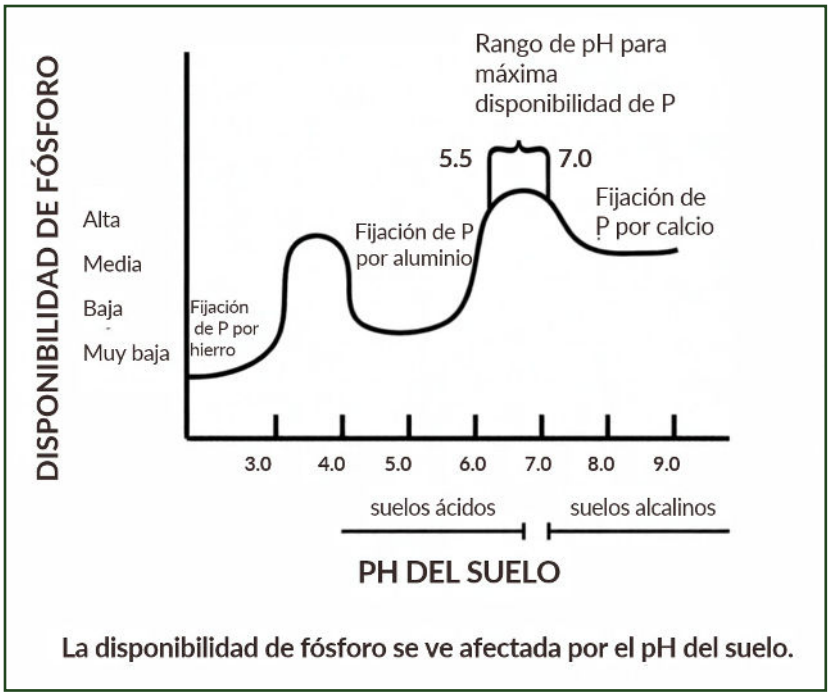


Figura 1. La disponibilidad del fósforo se ve afectada por el pH del suelo. Adaptado de Busman, L. et al., 2002. La naturaleza del fósforo en los suelos.

Fósforo

El fósforo (P) es el segundo elemento más esencial para el crecimiento de las plantas. El fósforo es esencial para el sistema de transferencia de energía de una planta y es importante en la fotosíntesis y la respiración (Gilmour, 2009). Las plantas absorben el fósforo en forma de iones fosfato (H_2PO_4-y HPO_4^{-2}). A diferencia de los iones nitrato, los iones fosfato se unen fuertemente a los iones positivos del suelo, como el calcio, lo que hace que el P sea mucho menos accesible para las plantas que el N.

El fósforo suele ser el nutriente más limitante en un sistema de cultivo orgánico de granos, y su manejo resulta aún más difícil cuando el pH no es el ideal. A veces se le llama el "nutriente reacio" porque es muy poco móvil en el suelo.

El fósforo está más disponible en suelos con un pH de 6.5. A un pH inferior a 6.5 (ligeramente ácido), el fósforo tiende a unirse a los óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro. En suelos con un pH superior a 6.5 (ligeramente alcalinos), el fósforo tiende a formar precipitados de calcio. Es importante tener en cuenta que, incluso cuando el fósforo está presente en el suelo, es posible que no esté fácilmente disponible para las plantas.

Además, si bien los agricultores pueden "producir" nitrógeno orgánico mediante el uso de abono verde, lamentablemente esto no es posible con el fósforo. Para reponer el fósforo en el suelo y mantener un balance nutricional equilibrado, es necesario volver a incorporarlo al sistema en forma de estiércol u otro fertilizante orgánico. La disponibilidad de fósforo puede modificarse a corto plazo, pero, una vez más, solo hay una cantidad limitada de fósforo en el suelo.

CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE FÓSFORO

Realizar análisis periódicos del suelo es fundamental para una gestión exitosa del fósforo en un sistema orgánico. No solo es importante conocer el nivel de fósforo en tu suelo, sino también comprender los niveles de pH del suelo, ya que esto determinará la

Tabla 7. Niveles de suficiencia de fósforo para el trigo y la alfalfa, Iowa

	Bray P1 o Mehlich-3 P	Olsen P
	Trigo o alfalfa	Trigo o alfalfa
Nivel relativo	ppm	ppm
Muy bajo	0 -15	0 – 10
Bajo	16 – 20	11 – 14
Óptimo	21 – 25	15 – 17
Alto	26 – 30	18 – 20
Muy alto	31+	21+

Fuente: Guía general sobre recomendaciones de nutrientes para cultivos y uso de piedra caliza en Iowa. J.E. Sawyer y cols. 2008. Extensión de la Universidad Estatal de Iowa, PM 1688.

cantidad de fósforo disponible para las plantas.

Análisis de fósforo en el suelo

Existen varios análisis de suelo para determinar el contenido de fósforo, y es importante saber cuál es el adecuado para tu suelo. En suelos con un pH de 7.0 o superior, se recomienda el análisis de Olsen. En suelos con un pH inferior a 7.0, se recomiendan los análisis de Bray o Mehlich. Los valores resultantes de estos análisis no son equivalentes entre sí, y no existe un factor de conversión confiable entre ambos (Jones y Jacobsen, 2005). Si envías muestras fuera del estado, asegúrate de que el laboratorio utilice un análisis calibrado para los suelos de tu zona.

El nivel crítico de fósforo en el suelo para la producción de granos es de alrededor de 16 ppm (Olsen) y 20 ppm (Bray o Mehlich). Lo ideal es que tu suelo se encuentre por encima de estos niveles para tener algo de fósforo "en el banco" (Jones, 2010).

La probabilidad de que se reduzca el rendimiento aumenta cuando el fósforo cae por debajo del nivel crítico. Los síntomas visuales de la deficiencia de fósforo generalmente no son evidentes hasta que el suelo se encuentra muy por debajo del nivel crítico. Estos síntomas incluyen hojas de color verde oscuro o púrpura, con muerte de las puntas en algunos casos. La reducción del macollamiento y el retraso en la madurez también son síntomas de la deficiencia de fósforo en los cereales de grano pequeño (Centro de Manejo Integrado de Plagas de Montana, 1998). Si sospechas que tu cultivo actual tiene bajos niveles de fósforo, puedes solicitar un análisis de tejido. La mayoría de las universidades de extensión agrícola pueden realizar esta prueba para ti. Ponte en contacto con tu agente de extensión local para obtener más información.

En las Grandes Llanuras del Norte, algunos agricultores llevan entre 20 y 25 años cultivando granos orgánicos. La mayoría de estos agricultores no ha agregado fósforo durante este tiempo y recién ahora están comenzando a notar algunos efectos de los suelos con bajos niveles de fósforo. Una razón para este retraso en la aparición de la deficiencia de fósforo podría ser la aplicación de fertilizantes por parte de la generación anterior. Si la generación anterior aplicó fertilizantes de fósforo con regularidad, ese fósforo aún estaría disponible para los cultivos de la siguiente generación. El Dr. Clain Jones, especialista en fertilidad del suelo de la Extensión de la Universidad Estatal de Montana, estima que hay aproximadamente 100 años de fósforo disponible en los suelos de Montana. (Esta cifra variará según la ubicación.) Sin embargo, los síntomas de deficiencia aparecerán mucho antes de ese plazo; probablemente entre los 5 y los 30 años, dependiendo de los niveles de fósforo (P) que se detecten en los análisis de suelo. El tema de la fertilidad del fósforo en la producción de cultivos orgánicos apenas está comenzando a ser una preocupación mayor, a medida que se agotan las reservas existentes en el suelo.

Recursos adicionales

Para obtener más información sobre la relación entre el rendimiento y el nivel de fósforo, consulta el Módulo 4 de gestión de nutrientes del Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Montana , titulado *Ciclo del fósforo, análisis y recomendaciones de fertilizantes*.

Tasas de eliminación de fósforo

Para calcular las necesidades de fósforo, consulta una tabla de tasas de remoción de nutrientes para tu zona. En Montana, por ejemplo, tomando como referencia las tasas de remoción de los cultivos del estado que se muestran en la Tabla 1, supongamos que se cultiva una cosecha de 50 bu/acre de trigo de invierno. En Montana, este cultivo de trigo eliminará 31 libras por acre de P_2O_5 en el grano y 9 libras por acre adicionales de P_2O_5 en la paja. (Consulte el ejemplo de cálculo para la producción de paja en la sección de nitrógeno para estimar la cantidad de paja producida.) Por lo tanto, el requerimiento total de P_2O_5 para cultivar este cultivo es de aproximadamente 40 libras por acre.

Factores de conversión generales para los valores de los fertilizantes

Si bien las necesidades de fertilizantes nitrogenados se expresan como N elemental, las de fósforo y potasio se expresan en sus formas de óxido (P_2O_5 y K_2O). Para convertir entre las formas elementales y las de óxido es necesario utilizar un factor de conversión.

- 1 lb de P_2O_5 × 0.44 = 1 lb de P
- 1 lb de P × 2.29 = 1 lb de P_2O_5
- 1 lb de K_2O × 0.83 = 1 lb de K
- 1 lb de K × 1.2 = 1 lb de K_2O

(Gilmour, 2009)

ESTIÉRCOL ANIMAL

Una buena fuente de fósforo para la producción agrícola orgánica es el estiércol animal. El estiércol no solo aporta otros macronutrientes y micronutrientes, sino que también contiene materia orgánica, lo que contribuye a mejorar la salud del suelo. Además, el fósforo presente en el estiércol es muy fácilmente asimilable por las plantas, debido a sus propiedades químicas.

Si bien todos los abonos aportan algo de fósforo, el abono avícola es el que más aporta, con un contenido promedio de 48 libras de P_2O_5 por tonelada. (Consulte la Tabla 6.) Suponiendo que necesitara 40 libras de P_2O_5 por acre para este cultivo de trigo de invierno, tendría que aplicar aproximadamente 1.67 toneladas de abono avícola por acre, si la eficiencia de uso del fósforo (PUE) es del 50 %.

Ejemplo de cálculo

40 libras de P_2O_5 por acre / 48 libras de P_2O_5 por tonelada de estiércol = 0.83 toneladas de estiércol por acre

0.83 toneladas de estiércol / 0.50 (PUE) = 1.67 toneladas de estiércol por acre

Al aplicar el estiércol, siempre existe el riesgo de escorrentía y contaminación del agua. Elegir el momento adecuado e incorporar el estiércol de manera correcta son aspectos esenciales para las buenas prácticas de manejo. Las oficinas estatales de Extensión Cooperativa ofrecen una amplia gama de servicios relacionados con la aplicación adecuada del estiércol y pueden ser una excelente fuente de información sobre este tema. Además, las oficinas del NRCS cuentan con programas que brindan apoyo en la planificación de la conservación de las explotaciones agrícolas y pueden ofrecer incentivos para implementar prácticas de conservación, tales como la aplicación de estiércol, el manejo de nutrientes y los cultivos de cobertura.

El valor del PUE

PUE son las siglas de "Eficiencia en el uso del fósforo" (Phosphorus Use Efficiency) y se refiere, esencialmente, al porcentaje de fertilizante fosforado aplicado que es absorbido por el cultivo. Este valor varía según el tipo específico de suelo y el tipo de fósforo aplicado. En general, a medida que aumenta el contenido de carbonato de calcio ($CaCO_3$), o cal, del suelo, la PUE disminuye (Jones, 2010). Además, las fuentes inorgánicas de fósforo tienden a tener valores de PUE más bajos que las fuentes orgánicas. Se ha observado que los valores de PUE oscilan entre aproximadamente el 30 % y el 85 % para los abonos de estiércol, dependiendo del suelo y del tipo de estiércol (Eghball et al., 2005; Eghball y Power, 1999). Los suelos con niveles de pH superiores a 7.5 o inferiores a 5.5 tendrán eficiencias más bajas y requerirán más estiércol para satisfacer las necesidades de fósforo de los cultivos. Al determinar las tasas adecuadas de aplicación de estiércol, deberá utilizar el valor de PUE en el cálculo. Comuníquese con su agente local de Extensión Cooperativa o con un Asesor Certificado en Cultivos (CCA) para determinar el valor correcto de PUE para su ubicación.

Integración ganadera

La sustentabilidad a largo plazo de un sistema de cultivo de granos orgánicos podría requerir la integración de un componente ganadero para garantizar una aplicación adecuada de nutrientes. Una idea es establecer vínculos entre los productores de granos orgánicos y los ganaderos locales para obtener estiércol. El transporte podría ser el factor limitante de esta idea, especialmente en el oeste, donde las distancias entre las granjas pueden ser bastante grandes.

Recursos adicionales

Si te encuentras en la Región Centro-Norte, tal vez te interese visitar el sitio web Manure Share de la Extensión de la Universidad de Illinois. Este sitio web sirve como plataforma de networking para que los agricultores intercambien estiércol.

HARINA DE HUESOS (4-14-0)

Otra fuente potencial de fósforo orgánico es la harina de huesos. La harina de huesos es un subproducto de la industria cárnica y se puede conseguir en diversos lugares de Estados Unidos. En comparación con el estiércol, el fósforo de la harina de huesos no es tan asimilable para las plantas y puede resultar costoso. Los análisis de la harina de huesos muestran un contenido promedio de P_2O_5 de alrededor del 14 %, pero esta cifra puede variar según la fuente de la harina de huesos.

Cálculo de la harina de huesos

Para calcular la cantidad de harina de hueso que se debe aplicar para obtener 40 libras de P_2O_5 por acre, utilice la siguiente ecuación:

Se requieren 40 libras de P_2O_5 por acre = 286 libras por acre de harina de hueso

14 libras de P_2O_5 por cada 100 libras de harina de hueso

Cómo encontrar proveedores de fósforo orgánico

OMRI, el Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos, es un excelente recurso para encontrar empresas de fertilizantes orgánicos. Puedes solicitar la Lista de Productos de OMRI llamando al 541-343-7600. O bien, puedes consultarla en línea aquí.

FOSFATO NATURAL (0-3-0)

La roca fosfórica es otra fuente de fósforo permitida en la producción orgánica. Es un mineral que se extrae de yacimientos en la tierra. “Los minerales de roca fosfórica son los únicos recursos significativos de fósforo a nivel mundial” (Jasinski, 2006). En Estados Unidos, la roca que contiene fosfato se extrae en Florida, Idaho, Carolina del Norte y Utah. El fosfato natural se puede adquirir en forma de gránulos o finamente molido (fosfato natural reactivo). La dificultad con el fosfato natural radica en su bajo contenido de fósforo disponible para las plantas y su costo relativamente alto. El fosfato natural tiene solo alrededor del 3 % de P_2O_5 disponible.

Consideremos el ejemplo de un cultivo de trigo de invierno con un potencial de rendimiento de 50 bu/acre y un requerimiento de P_2O_5 de 40 lbs/acre. Utiliza los siguientes cálculos para determinar cuánta roca fosfórica se debe aplicar por acre.

Ejemplo de cálculo de fosfato natural

Se requieren 40 libras de P_2O_5 por acre = 1,333 libras por acre de roca fosfórica

3 libras de P_2O_5 por cada 100 libras de roca fosfórica

Por lo tanto, el agricultor tendría que aplicar 1,333 libras por acre de fosfato natural para cubrir la necesidad total de P_2O_5 de este cultivo de trigo.

Prueba en una zona pequeña

Ten en cuenta que todas estas cifras sobre las necesidades de fósforo son estimaciones. Es difícil calcular con exactitud la cantidad correcta de fósforo para un cultivo específico, ya que las respuestas de los cultivos no siempre son consistentes. Si los análisis de tus suelos indican un nivel bajo de fósforo, es más probable que observes una respuesta al fertilizante fosforado que si los análisis indican un nivel alto (Jones y Jacobsen, 2005). A veces, el método de prueba y error es la mejor manera de ajustar con precisión las necesidades de fósforo en tu propia granja. Prueba un poco de fertilizante de fósforo en unas pocas acres y observa si hay una diferencia en el rendimiento antes de aplicarlo en todas partes, especialmente si estás considerando opciones minerales, que suelen ser costosas.

Comentarios de los agricultores

Rick Winkowitsch y su esposa Kim cultivan 2,400 acres de cereales de grano pequeño y leguminosas orgánicas cerca de Cut Bank, Montana. Rick utiliza fosfato natural para aportar fósforo al suelo y considera que la mejor forma de aplicarlo es en bandas en la zona radicular al sembrar un cultivo de leguminosas. Él cree que la acidez de las leguminosas ayuda a descomponer el fosfato natural. Aplica de 100 a 120 libras por acre junto con las leguminosas y, luego, otras 100 a 120 libras por acre en el otoño, al sembrar el trigo de invierno.

Rick aplica fosfato natural aproximadamente seis de cada diez años, pero dice que la frecuencia con la que lo aplica depende de sus niveles de producción. Si tiene una cosecha abundante, se asegura de aplicar fosfato natural para reponer los nutrientes. Sin embargo, si es un año de sequía o si la cosecha se ve afectada por el granizo, no aplica fosfato natural al año siguiente.

Rick sí menciona que puede haber un retraso en la eficacia del fosfato natural. Este necesita tiempo para descomponerse y convertirse en una forma que las plantas puedan aprovechar. El tiempo que esto tome dependerá de la humedad y del estado general del suelo. Por eso, el aumento en el rendimiento no siempre se nota inmediatamente después de aplicar el fosfato natural.

MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica también liberará algo de fósforo a medida que se mineraliza (Brady, 1990). Según el ejemplo anterior sobre la materia orgánica del suelo y su contribución a la disponibilidad de nitrógeno, recuerda que un 1 % de materia orgánica del suelo contiene aproximadamente 100 libras de fósforo. A medida que se mineraliza, liberará de 4 a 6 libras de P_2O_5 por acre al año.

Si bien estas cifras son estimaciones y dependerán de la tasa de mineralización, es seguro suponer que existe una pequeña aportación de fósforo procedente de la materia orgánica del suelo. Sin embargo, a diferencia del nitrógeno, este fósforo no se aporta desde fuera del sistema mediante la fijación de las leguminosas y, por lo tanto, no contribuye al equilibrio del balance de nutrientes, a menos que se introduzca en el campo desde otro lugar.

CULTIVOS DE COBERTURA

Muchos agricultores orgánicos utilizan cultivos de cobertura para aumentar la disponibilidad de fósforo en el suelo. Cultivos como el trigo sarraceno y las leguminosas pueden acidificar la zona radicular. En suelos alcalinos, esto puede ayudar a liberar el fósforo que está ligado al calcio (Zhu et al., 2002).

Sin embargo, existe un debate sobre si este fósforo estaría o no más disponible para un cultivo comercial posterior de granos pequeños. Se necesita más investigación para comprender mejor la interacción entre los cultivos de cobertura y la disponibilidad de fósforo para el cultivo del año siguiente.

Independientemente de si los cultivos de cobertura liberan fósforo o no, lo cierto es que estos no aportan fósforo adicional al sistema. Las leguminosas fijadoras de nitrógeno captan nitrógeno de la atmósfera y lo ponen a disposición de las plantas, pero no existe un proceso similar para el fósforo. Con el tiempo, incluso el fósforo potencial liberado por los cultivos de cobertura deberá ser reemplazado para equilibrar el balance de nutrientes.

Recursos adicionales

El Instituto Internacional de Nutrición Vegetal ofrece en su sitio web una presentación sobre la nutrición con fósforo del trigo. Haz clic en “Fósforo” y luego en “Serie de presentaciones en PowerPoint sobre nutrición con fósforo.”

AUMENTO DEL PH DEL SUELO

Al considerar la aplicación de fósforo, ten en cuenta que tal vez debas ajustar el pH del suelo para que el fósforo presente sea más accesible. Si tienes un suelo ácido, debes saber que muchos agentes de encalado se consideran enmiendas orgánicas del suelo. La Tabla 8 enumera los agentes de encalado más comunes junto con su clasificación como enmiendas orgánicas.

Consulta con tu organismo certificador para asegurarte de que la cal que pretendes utilizar cumpla con las normas orgánicas. Según el Manual de Normas de la OMRI, los minerales extraídos están permitidos, pero un material “no debe haber sufrido ningún cambio en su estructura molecular mediante

Tabla 8: Fuentes de agentes de encalado orgánicos

Fuente	Forma física	Fórmula química	Análisis	¿Se permite como enmienda orgánica?
Cal calcítica	sólido	$CaCO_3$	40 % de Ca	Sí
Cal dolomítica	sólido	$CaMg(CO_3)^2$	22 % de Ca, 13 % de Mg	Sí – extraído No – apagado o cocido
Yeso	sólido	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	23 % de Ca	Sí, solo formas extraídas
Sulfato de potasio y magnesio	sólido	$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$	11 % de magnesio	Sí, solo formas extraídas

Fuentes: Gilmour, J. 2009. Preparación para el examen internacional de asesor certificado en cultivos de 2009. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal; Manual de normas de la OMRI. 2009. Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos.

calentamiento o combinación con otras sustancias." Además, los materiales extraídos son "aceptables si no han sido procesados ni enriquecidos con sustancias químicas sintéticas" (Organic Materials Review Institute, 2009). Por ejemplo, la dolomita extraída de minas está permitida como enmienda orgánica del suelo, pero no lo está la dolomita apagada o calcinada. Para conocer las dosis de aplicación y las recomendaciones, consulta con tu servicio de extensión local o con el NRCS.

REDUCCIÓN DEL PH DEL SUELO

Otra forma de aumentar la disponibilidad de fósforo es reducir el pH de los suelos alcalinos. Desafortunadamente, aunque existen formas de lograr pequeñas reducciones en el nivel de pH, no se puede hacer mucho para disminuir significativamente el pH de los suelos calcáreos. El factor principal que determina esto será la cantidad de carbonato de calcio ($CaCO_3$) en el suelo. Si el nivel de carbonato de calcio es inferior a aproximadamente el 0.01 %, el estiércol y el compost probablemente reducirán el pH gracias a su acidez. Sin embargo, si el nivel de carbonato de calcio es del 10 % o más, se necesitarían volúmenes excesivos y poco realistas de insumos para neutralizarlo (Jones, 2010).

En general, el compost y el estiércol suelen ser ácidos, lo que ayudaría a liberar más fósforo en un suelo alcalino. Sin embargo, nunca des por sentado que el estiércol es ácido. Algunos tipos de estiércol pueden ser alcalinos si la alimentación del ganado fue principalmente alcalina (McCauley et al., 2009). Asegúrate de contar con un análisis completo de nutrientes —incluido un análisis de pH— del estiércol antes de utilizarlo.

El azufre elemental, un enmienda orgánica aprobada, se ha utilizado en ocasiones para reducir el pH del suelo. Sin embargo, su efectividad puede ser mínima. Un estudio reciente reveló que, a un pH de 8 y con un 1.5 % de carbonato de calcio presente, al aplicar 1,000 libras de azufre elemental por acre, el pH solo bajó a 7.8. De manera similar, cuando se aplicaron 10,000 libras de azufre elemental por acre al mismo suelo, el pH solo bajó a 7.5. La aplicación de azufre elemental puede ser un método costoso, pero relativamente ineficaz, para reducir el pH del suelo (Agvise Laboratories, 2010).

Potasio

El tercer macronutriente más importante es el potasio (K). El potasio es importante para el crecimiento del tallo, regula la pérdida de agua y participa en el metabolismo del nitrógeno y los carbohidratos (Gilmour, 2009). En general, «las necesidades de potasio de los cultivos son elevadas, de tres a cinco veces mayores que las de fósforo, e iguales a las de nitrógeno» (Brady, 1990). Además, las plantas tienen la capacidad de absorber un exceso de potasio. Esto se conoce como consumo de lujo. Por esta razón, y debido a que el potasio puede

lixiviarse a través del perfil del suelo, se recomiendan aplicaciones frecuentes y ligeras de potasio en lugar de aplicaciones pesadas y menos frecuentes (Brady, 1990).

TASAS DE ELIMINACIÓN DE POTASIO

A partir de las tasas de extracción de nutrientes que se muestran en la Tabla 1, vemos que un cultivo de trigo de invierno de 50 bu/acre en Montana extraerá 19 lbs de K_2O/acre en el grano, así como aproximadamente 62 lbs de K_2O/acre en la paja. Por lo tanto, este cultivo requiere aproximadamente 81 lbs de K_2O/acre para reemplazar por completo la cantidad de potasio extraída.

NIVELES DE POTASIO EN LOS ANÁLISIS DE SUELO

Además de calcular las tasas de eliminación, un análisis de suelo es otra forma de determinar las necesidades de potasio. A modo de ejemplo, la siguiente tabla presenta los niveles de suficiencia de potasio para el trigo en Kansas. Consulta con la universidad estatal de tu estado para obtener recomendaciones específicas para tu zona.

ESTIÉRCOL ANIMAL

El estiércol animal es una fuente de potasio para la producción agrícola orgánica. Aproximadamente la mitad del potasio proviene de la fracción líquida del estiércol. Las fracciones líquida y sólida del estiércol suelen mezclarse en los sistemas ganaderos de pastoreo abierto, donde los desechos de los animales se dejan en el corral antes de ser retirados o limpiados. Por el contrario, algunos sistemas de manejo de desechos altamente sofisticados en la producción porcina y lechera separan los desechos líquidos de los sólidos, lo que divide los nutrientes disponibles. Los administradores de estiércol que busquen maximizar el contenido de potasio deben tener cuidado de conservar la fracción líquida de orina dentro del estiércol.

Aproximadamente la mitad del potasio aportado por el estiércol estará disponible para el siguiente cultivo comercial (Brady, 1990). Para calcular las dosis de aplicación de estiércol con el fin de aportar potasio, utilizaremos como ejemplo el estiércol seco de vacuno. En la Tabla 6 se observa que este estiércol contiene aproximadamente 23 libras de K_2O por tonelada.

Exceso de potasio

Los suelos suelen presentar niveles de K_2O superiores a las 300 ppm. Este exceso no representa un problema hasta alcanzar aproximadamente entre 700 y 800 ppm, momento en el que puede comenzar a interferir con la absorción de otros nutrientes importantes (Dinkins y Jones, 2007).

Tabla 9. Recomendaciones sobre la suficiencia de potasio para el trigo (Universidad Estatal de Kansas)

	Meta de rendimiento (bushels por acre)				
Intercambio K (ppm)	30	40	50	60	70
	Libras de K_2O por acre				
0-40	60	60	65	65	65
40-80	35	40	40	40	40
80-120	15	15	15	20	20
120-130	15	15	15	15	15
130+	0	0	0	0	0
Eliminación de recorte	9	12	15	18	21

Fuente: Leikam, D.F., y cols. 2003. Interpretación de análisis de suelo y recomendaciones de fertilizantes.

Aplicación de estiércol para cubrir las necesidades de potasio

Para calcular una dosis de aplicación de 81 libras de K_2O por acre, utilizaríamos la siguiente ecuación:

81 libras de K_2O por acre / 23 libras de K_2O por tonelada de estiércol = 3.52 toneladas de estiércol por acre

3.52 toneladas / 0.5 (tasa de disponibilidad) = 7.04 toneladas de estiércol por acre

Recuerda que esta dosis de aplicación se basa en el valor de reposición total, lo que explica que sea tan alta.

CLORURO DE POTASIO (KCL) 0 – 0 – 60

El cloruro de potasio es la fuente más común de potasio mineral en la producción agrícola convencional, no orgánica. En América del Norte, el cloruro de potasio (KCl) representa aproximadamente el 95 por ciento de todos los fertilizantes potásicos (Instituto Internacional de Nutrición Vegetal, 1998). La mayor parte del KCl que se utiliza en América del Norte proviene de minas en Saskatchewan, Canadá.

El KCl se considera una sustancia extraída de minas con alta solubilidad; por lo tanto, las normas de agricultura orgánica permiten su uso, pero con restricciones. Específicamente, "el cloruro de potasio debe aplicarse de manera que se minimice la acumulación de cloruro en el suelo" (OMRI, 2009).

La acumulación de cloruro puede ser un problema en suelos propensos a la salinidad. Una forma común de verificar la acumulación de sal es medir la conductividad eléctrica (CE). En general, los suelos que presentan un valor de CE superior a 4 mmhos/cm requerirán algún tipo de remediación, como el lavado por riego, y no se les debe aplicar KCl (Brady, 1990). Dado que el cloruro de potasio tiene ciertas restricciones, consulta con tu certificador antes de aplicarlo. Es posible que tu certificador requiera un análisis de suelo para documentar la necesidad de aplicar potasio, así como la ausencia de acumulación de cloruro, antes de utilizar KCl.

SULFATO DE POTASIO (0 – 0 – 50 – 18)

Otra fuente de potasio mineral es el sulfato de potasio, también conocido como sulfato de potasa (SOP). La fórmula química del SOP es K_2SO_4. Las normas de agricultura orgánica consideran que el sulfato de potasio es una sustancia extraída de minas con baja solubilidad y, por lo tanto, su uso está permitido en sistemas orgánicos sin restricciones (Gilmour, 2009).

El SOP se extrae del Gran Lago Salado mediante la evaporación del agua en estanques de separación y la recolección de los minerales restantes. Una ventaja del SOP es que no contiene cloruro. Si tus suelos son propensos a la salinidad, esta podría ser la mejor opción de fertilizante mineral de potasio. Además, el SOP contiene azufre, otro elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Por lo general, el contenido de azufre por cada 100 libras de SOP es del 18%.

SULFATO DE POTASIO Y MAGNESIO (0–0–22–23)

El sulfato de potasio y magnesio ($2MgSO_4$ o K_2SO_4), también conocido como Sul-Po-Mag, es una sal mineral natural. El Sul-Po-Mag suele contener entre un 20 y un 22 por ciento de potasio y azufre, y entre un 10 y un 11 por ciento de magnesio (Stewart, 2001). Las normas de agricultura orgánica consideran que se trata de una sustancia extraída de minas con baja solubilidad, y su uso está permitido sin restricciones (OMRI, 2009).

Cálculo del cloruro de potasio

Para calcular la tasa de extracción por parte del cultivo de 81 libras de K_2O por acre:

$$\frac{\text{Se necesitan 81 libras de } K_2O \text{ por acre}}{\text{60 libras de } K_2O \text{ / 100 libras de fertilizante KCl}} = \text{135 libras de fertilizante KCl por acre}$$

Cálculo del sulfato de potasio

El cálculo para utilizar el SOP, suponiendo que se necesite el valor total de 81 libras por acre, es el siguiente:

$$\frac{\text{Se necesitan 81 libras de } K_2O \text{ por acre}}{\text{50 libras de } K_2O \text{ por cada 100 libras de fertilizante}} = 76 \text{ libras de fertilizante } K_2SO_4 \text{ por acre}$$

Cálculo de Sul-Po-Mag

El cálculo para utilizar sulfato de potasio y magnesio, suponiendo que se necesite el valor total de 81 libras de K_2O por acre, es el siguiente:

$$\frac{\text{Se necesitan 81 libras de } K_2O \text{ por acre}}{\text{22 libras de } K_2O \text{ por cada 100 libras de fertilizante}} = 368 \text{ libras de fertilizante Sul-Po-Mag por acre}$$

Calcio, magnesio y azufre

El calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) son los últimos macronutrientes necesarios para el crecimiento saludable de las plantas. Según las tasas de extracción de nutrientes de los cultivos de Montana (Tabla 1), un bushel de trigo —junto con la paja— extrae aproximadamente 4.6 libras de calcio, 2.3 libras de magnesio y 3.8 libras de azufre. Por lo tanto, un cultivo de trigo de invierno de 50 bu/acre eliminará aproximadamente 230 libras de calcio por acre, 115 libras de magnesio por acre y 190 libras de azufre por acre.

La Tabla 10 resume las fuentes más comunes de calcio, magnesio y azufre permitidas para la producción de cultivos orgánicos. Para calcular las dosis de aplicación, consulta una tabla de tasas de extracción de los cultivos correspondiente a tu zona o realiza un análisis de suelo para determinar los niveles actuales de macronutrientes en el suelo.

Micronutrientes

En aras de la brevedad, esta publicación solo aborda los seis macronutrientes más esenciales: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Sin embargo, también hay ocho micronutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos de granos: cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel y zinc.

Si bien pueden presentarse deficiencias de micronutrientes, estas no son comunes en las Grandes Llanuras del Norte (Jacobsen et al., 2005). Los análisis periódicos del suelo permiten identificar un problema antes de que afecte los rendimientos, por lo que deben realizarse en áreas donde se sospeche la presencia de deficiencias de micronutrientes.

Para obtener información sobre las fuentes orgánicas de micronutrientes, OMRI ofrece un catálogo completo y un sitio web con las sustancias permitidas en www.omri.org. También puedes solicitar un catálogo impreso llamando a OMRI al 541-343-7600.

Conclusión

Mantener una fertilidad adecuada del suelo es importante para obtener cultivos orgánicos saludables. Con el tiempo, los cultivos extraen nutrientes del suelo. Estos nutrientes deben reponerse para equilibrar el balance de nutrientes.

En un sistema orgánico, estos nutrientes deben provenir de fuentes locales y biológicas siempre que sea posible. Las

Tabla 10. Fuentes de calcio, magnesio y azufre orgánicos

Fuente	Forma física	Fórmula química	Análisis	¿Se permite como enmienda orgánica?
Cal calcítica	sólido	$CaCO_3$	40 % de Ca	Sí
Cal dolomítica	sólido	$CaMg(CO_3)_2$	22 % de Ca, 13 % de Mg	Sí – extraído No – apagado o cocido
Yeso	sólido	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	23 % de Ca	Sí, solo formas extraídas
Sulfato de potasio y magnesio	sólido	$K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$	11 % de Mg, 23 % de S	Sí, solo formas extraídas
Azufre elemental	sólido	S	90 % S Español de América Latina (es-419)	Sí, se trata de un producto sintético permitido. No hay restricciones en cuanto a la fertilidad de los cultivos.

Fuentes: Gilmour, J. 2009. Preparación para el examen internacional de asesor certificado en cultivos de 2009. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. p. 16 y Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos. 2009. Manual de normas de OMRI.

fuentes biológicas, como los cultivos de cobertura y el estiércol del ganado, aportan materia orgánica además de nutrientes. La materia orgánica también beneficia la biología del suelo. El uso de fuentes locales ahorra combustible y reduce los costos de transporte. Es posible que los productores de granos orgánicos deban considerar la integración del ganado o asociarse con vecinos que tengan ganado, para tener acceso al estiércol.

Si hay escasez de fuentes biológicas, se pueden utilizar fuentes de fertilizantes orgánicos de origen minero, como el fosfato natural. Consulta siempre con tu organismo certificador antes de utilizar una nueva sustancia, para asegurarte de que sea aceptable.

Básate en análisis periódicos del suelo, en una tabla local de tasas de extracción de los cultivos y en tu experiencia personal para calcular las necesidades de los cultivos cada año. Dado que los niveles de nitrógeno son muy variables, se recomienda realizar análisis anuales del suelo inmediatamente antes de la siembra. Otros nutrientes, como el fósforo, son más estables y requieren análisis menos frecuentes.

Realiza un análisis de materia orgánica cada cinco años, más o menos, para monitorear los niveles. Las normas orgánicas exigen que los niveles de materia orgánica del suelo se mantengan constantes o aumenten con el tiempo. Los análisis de suelo son una forma confiable de medir cualquier progreso.

Basa los cálculos del balance de nutrientes en información local. La aportación de nitrógeno de los abonos verdes dependerá del clima local y de la selección de variedades. Las tasas de extracción de los cultivos variarán según la ubicación. Consulta con el servicio de extensión local o con el NRCS para obtener información local precisa antes de realizar los cálculos.

Toma en cuenta la sostenibilidad al tomar decisiones relacionadas con la fertilidad. La agricultura orgánica no consiste simplemente en sustituir un fertilizante convencional por uno orgánico. Considera el plan de fertilidad como una parte de un sistema biológico complejo que requiere gestión y cuidado.

Ejemplo de estudio de caso

Un agricultor orgánico de Dakota del Sur está tratando de diseñar una rotación de cultivos que garantice una fertilidad adecuada en nitrógeno para un cultivo de

maíz orgánico. Los cultivos comerciales de esta explotación son el maíz, la soya y el trigo. Se aporta fertilidad adicional mediante estiércol seco de res, aplicado a razón de 2 toneladas por acre. Los niveles de materia orgánica del suelo promedian el 3.5 % en todos los campos.

La rotación actual es la siguiente:

- Maíz
- Avena y trébol berseem
- Soja
- Trigo y trébol berseem

Las aportaciones de nitrógeno varían según la región y el clima. En la Tabla 11 se presenta una estimación de los créditos de nitrógeno procedentes de diversos cultivos de cobertura en Dakota del Sur.

Tabla 11. Créditos de nitrógeno de cultivos anteriores, Dakota del Sur

Cultivo	Población (Plantas/pie cuadrado)	N Crédito (libras-N/acre)
Alfalfa o abono verde de leguminosas	< 1	0
	1 – 2	50
	3 – 5	100
	> 5	150
Soja, frijoles comestibles, chícharos, lentejas y otras leguminosas anuales		40

Fuente: Mejores prácticas de manejo del maíz en Dakota del Sur. 2009. Extensión de la Universidad Estatal de Dakota del Sur. EC929.

Esta rotación específica aporta la siguiente cantidad de nitrógeno durante cada ciclo de cultivo.

Tabla 12. Cantidad de N aportada al suelo por cada cultivo

Rotación	N Crédito (libras/acre)
Maíz	0
Avena/trébol berseem	40
Soya	40
Trigo/trébol berseem	40

REFERENCIAS

Agvise Laboratories. 2010. “pH alto del suelo: ¿se puede solucionar el problema?”

Bass, T. 2008. El uso del estiércol como fertilizante. Extensión de la Universidad Estatal de Montana. EB 0184.

Bass, Thomas. 2010. Extensión de la Universidad Estatal de Montana. Comunicación personal.

Blackshaw, R. E. 2005. Efectos de los fertilizantes nitrogenados, el estiércol y el compost sobre el crecimiento de las malezas y la competencia con el trigo de primavera. Agronomy Journal. Vol. 97. p. 1612-1621.

Bundy, L.G., K.A. Kelling y L. Ward Good. 1997. El uso de leguminosas como fuente de nitrógeno. Universidad de Wisconsin-Extensión, Extensión Cooperativa. https://corn.agronomy.wisc.edu/Management/pdfs/A3517.pdf

Busman, L., Lamb, J., Randall, G., Rehm, G. y Schmitt, M. 2002. La naturaleza del fósforo en los suelos. Extensión de la Universidad de Minnesota.

Clark, Andy (ed.). 2007. Manejo rentable de los cultivos de cobertura, 3.ª ed. Red de Agricultura Sostenible. www.sare.org/publications/covercrops/covercrops.pdf

Clay, David. 2010. Universidad Estatal de Dakota del Sur. Comunicación personal.

Clay, David E., Kurtis D. Reitsma y Sharon A. Clay (eds.). 2009. Mejores prácticas de manejo para el maíz en Dakota del Sur. Extensión de la Universidad Estatal de Dakota del Sur. EC929. https://www.midwestcovercrops.org/wp-content/uploads/2016/10/SD_2009_Tillage-crop-rotations-and-cover-crops-BMPs-for-corn-1.pdf

Dinkins, C. P. y C. Jones. 2007. Interpretación de los resultados de los análisis de suelo para la agricultura. Extensión de la Universidad Estatal de Montana. MT200702AG.

Eghball, Bahman, Brian J. Wienhold, Bryan L. Woodbury y Roger A. Eigenberg. 2005. Disponibilidad del fósforo para las plantas en el purín porcino y el estiércol de los corrales de engorde de ganado vacuno. Agronomy Journal. Vol. 97. págs. 42–548.

Eghball, Bahman y James F. Power. 1999. Aplicaciones de estiércol y compost a base de fósforo y nitrógeno: producción de maíz y fósforo en el suelo. Revista de la Sociedad de Ciencias del Suelo de Estados Unidos. Vol. 63. págs. 895–901.

Engel, R. G., Carlson, D. y Long. 1999. Evaluación poscosecha del manejo del nitrógeno en el trigo de primavera a partir del contenido de proteína del grano. Universidad Estatal de Montana. Datos sobre fertilizantes n.º 21.

Gilmour, J. 2009. Preparación para el examen internacional de asesor certificado en cultivos de 2009. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal.

IFOAM. 2008. Asamblea General, Definición de agricultura orgánica. https://www.ifoam.bio/why-organic/organic-landmarks/definition-organic

Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. 1998. Producción y uso del potasio. Mejores cultivos con nutrientes vegetales. Vol. 82, n.º 3.

Jacobsen, J., Jackson, G. y Jones, C. 2005. Pautas de fertilización para los cultivos de Montana. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Montana. EB161.

Jasinski, S.M. 2006. Roca fosfórica. Estudio sobre minerales de 2006. Departamento del Interior de EE. UU. Servicio Geológico de EE. UU.

Jones, Dr. Clain. Comunicación personal, 2010.

Jones, C. y J. Jacobsen. 2005. Ciclo del fósforo, análisis y recomendaciones sobre fertilizantes. Módulo de manejo de nutrientes n.º 4. Extensión de la Universidad Estatal de Montana.

McCauley, A., C. Jones, J. Jacobsen. 2009. pH del suelo y materia orgánica. Módulo 8: Manejo de nutrientes. Extensión de la Universidad Estatal de Montana.

MidWest Plan Service. 1993. Manual de instalaciones para residuos ganaderos. Tercera edición. Tabla 10-6. pág. 10.4.

Centro de Manejo Integrado de Plagas de Montana. 1998. Enfermedades abióticas: nutricionales. Deficiencia de fósforo. Enfermedades del trigo en Montana.

NOP. 2010. Reglamento del Programa Nacional Orgánico, CFR 7 §205. USDA – AMS.

Instituto de Revisión de Materiales Orgánicos (OMRI). 2009. Manual de normas de OMRI. www.omri.org

Sawyer, J.E., A. P. Mallarino, R. Killorn y S. K. Barnhart. 2008. Guía general sobre recomendaciones de nutrientes para cultivos y uso de caliza en Iowa. Extensión de la Universidad Estatal de Iowa, PM. 1688.

Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Dakota del Sur. 2003. Cómo utilizar los resultados de los análisis de estiércol.

Stewart, Dr. W.M. 2001. Terminología y datos sobre la potasa. Agri-Briefs. Instituto Internacional de Nutrición Vegetal. Invierno de 2001, Número 7.

Universidad de Manitoba. 2004. Valor de reemplazo de los fertilizantes de los cultivos de abono verde de leguminosas. https://www.midwestcovercrops.org/2023/09/29/fertilizer-replacement-value-of-legume-green-manure-crops/

NRCS. 1987. Potencial del fósforo disponible en el estiércol animal para satisfacer o superar la absorción y la eliminación por parte de las plantas en tierras de cultivo sin leguminosas, tierras de heno y pastizales. USDA.

Yang, Xueming, Craig F. Drury, W. Dan Reynolds y Mary-Anne D. Reeb. 2023. Los cultivos de cobertura de leguminosas como fuente principal de nitrógeno en una rotación de cultivos orgánicos en Ontario, Canadá: efectos en los rendimientos del maíz, la soya y el trigo de invierno. Org. Agr. (2024) 14:19–31 https://doi.org/10.1007/s13165-023-00452-3.

Zentner, R.P., C.A. Campbell, V.O. Biederbeck, F. Selles, R. Lemke, P.G. Jefferson y Y. Gan. 2004. Evaluación a largo plazo del manejo de un cultivo de abono verde de leguminosas anuales como sustituto del barbecho en la zona de suelos pardos. Canadian Journal of Plant Science. Vol. 84. págs. 11-22.

Zhu, Y-G, Y-Q He, S.E. Smith, F.A. Smith. 2002. El trigo sarraceno tiene una alta capacidad para absorber fósforo (P) de una fuente ligada al calcio (Ca). Plant and Soil. Vol. 239. págs. 1-8.

Recursos adicionales

Herramienta de cálculo de la eliminación de nutrientes, Facultad de Agricultura de la NDSU
www.ndsu.edu/agriculture/ag-hub/ag-topics/crop-production/tools/nutrient-removal-calculator-tool

Para usar esta herramienta, ingresa el rendimiento y el precio del cultivo, y ella calculará las tasas de extracción de N, P y K.

Abonado verde con leguminosas | Suelos, fertilidad y nutrientes, Gobierno de Saskatchewan
www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/soils-fertility-and-nutrients/green-manuring-with-legumes

El nitrógeno fijado en un cultivo de abono verde no es una fuente "gratis" de N adicional, pero puede ser una opción eficaz para algunos sistemas de cultivo, como la producción agrícola orgánica. Existe un costo por comprar la semilla, inocularla y plantarla, así como un costo por eliminar el cultivo de abono verde en la etapa adecuada. También existe el costo adicional de no cultivar un cultivo comercializable ese año, así como un mayor agotamiento de las reservas de humedad del suelo en zonas más secas, en comparación con las opciones de labranza o barbecho químico.

Materia orgánica del suelo – Gobierno de Alberta. https://open.alberta.ca/publications/2819013

El Gobierno de Alberta ofrece una buena visión general sobre el manejo de la materia orgánica en los suelos de las praderas en esta publicación.

¿Cuánto vale el estiércol? Calculadora. Manejo del estiércol y calidad ambiental, Extensión de la Universidad de Minnesota. https://apps.extension.umn.edu/agriculture/manure-management-and-air-quality/manure-application/calculator/

Usa esta calculadora para estimar rápidamente el valor del estiércol según los tipos específicos de estiércol, los métodos de aplicación, el estado de los nutrientes del suelo y las necesidades del cultivo. Las estimaciones se basan en el valor de reemplazo del fertilizante y los costos de aplicación.

Publicaciones sobre la fertilidad del suelo, Extensión de la MSU, Universidad Estatal de Montana
https://landresources.montana.edu/soilfertility/publications.html

Entre los temas se incluyen los cultivos de cobertura como reemplazo parcial del barbecho de verano, la reducción de la lixiviación de nitratos, el manejo del nitrógeno para optimizar el rendimiento y el contenido de proteína de las leguminosas, las prácticas para aumentar el contenido de proteína del grano de trigo, el manejo de los nutrientes del suelo en las granjas de granos orgánicos y mucho más.

Módulo 05 de gestión de nutrientes: Ciclo del potasio, análisis y recomendaciones sobre fertilizantes, Universidad Estatal de Montana. https://extension-store.montana.edu/products/nutrient-management-module-05-potassium-cycling-testing-and-fertilizer-recommendations

Aprender las diversas formas en que el potasio se encuentra en el suelo; comprender los procesos del suelo que afectan la disponibilidad de potasio para las plantas; comprender cómo las propiedades del suelo y del clima influyen en el ciclo del potasio; comprender la relación entre el rendimiento y el nivel de fósforo; aprender a formular recomendaciones sobre fertilizantes de potasio basadas en el análisis del suelo y las características del sitio.

Fósforo, elementos esenciales, según el Instituto de Fertilizantes.
www.tfi.org/wp-content/uploads/2024/01/tfi-phosphorus.pdf

Se debe agregar fósforo al suelo cuando el suministro natural es demasiado bajo para favorecer el crecimiento saludable de los cultivos. Mantener un suministro adecuado. El contenido de P es esencial para la salud de las plantas y para obtener altos rendimientos.

Aplicación de fertilizantes de azufre: ¿Se acumula el azufre de un año a otro? Minnesota Crop News, 29 de noviembre de 2023. https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2023/11/sulfur-fertilizer-application-does-s.html

¿Puede el azufre elemental (S) proporcionar azufre disponible a los cultivos durante un período más prolongado en comparación con las fuentes de sulfato? Un estudio en curso analiza cómo se comportan diferentes fuentes de fertilizantes de azufre a lo largo del tiempo. Las fuentes que estamos analizando son el sulfato de potasio (K), el K-MST (Tecnología de Azufre Micronizado) y el Tiger 90. Los datos de 2023 muestran algunos resultados interesantes.

Escrito por
Susan Tallman,
Especialista en
agricultura

Publicado 2012

Actualizado en 2026 por
Lee Rinehart

Nina Prater,
Editora
Traducido al español por
Luz Ballesteros

Robyn Metzger,
Producción

©NCAT

SP391
Ranura 093026

Esta traducción cuenta con el apoyo del Programa de Asociación para la Transición a la Producción Orgánica (TOPP, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). TOPP es un programa de la Iniciativa de Transición a la Producción Orgánica del USDA y es administrado por el Programa Nacional Orgánico (NOP) del Servicio de Comercialización Agrícola (AMS) del USDA. El sitio web de TOPP es organictransition.org.

CENTER *for* RURAL AFFAIRS

United States Department of Agriculture
Agricultural Marketing Service
National Organic Program
Transition to Organic Partnership Program

USDA ORGANIC

Esta publicación fue posible, en parte, gracias a fondos del Center for Rural Affairs (cfra.org).

También cuenta con financiación parcial de ATTRA, a través de un acuerdo de cooperación con el USDA-RBS.