



Nutrición y Fertilización de las Plantas

Douglass F. Jacobs y Thomas D. Landis

12

Las plantas necesitan nutrientes minerales, en las cantidades y equilibrio adecuados, para los procesos fisiológicos básicos, como la fotosíntesis, y para promover un rápido crecimiento y desarrollo. Sin un buen suministro de nutrientes minerales, el crecimiento se vuelve más lento y el vigor de la planta disminuye. Las plantas jóvenes agotan rápidamente los nutrientes minerales almacenados en sus semillas y los esquejes tienen reservas de nutrientes limitadas. Por lo tanto, las plantas de vivero deben alimentarse de los nutrientes que sus raíces absorben del sustrato. Cuando a las plantas de vivero se les suministra nutrientes en las cantidades y momentos apropiados, estas pueden alcanzar tasas de crecimiento óptimas.

Este capítulo describe la importancia de la nutrición para el crecimiento y desarrollo de las plantas y las prácticas típicas de fertilización para la producción de plantas en viveros tropicales.

Página opuesta: *Aplicación de abono superficial a las plántulas de sándalo nativo (especie Santalum) con fertilizante de liberación controlada en Waimea State Tree Nursery en Hawái. Foto de Douglas F. Jacobs.*

Principios Básicos de Nutrición de las Plantas

Una concepción equivocada común es que el fertilizante es “alimento para las plantas” (figura 12.1A), pero la nutrición básica de las plantas es muy distinta a la de los animales. Utilizando la clorofila verde de sus hojas, las plantas fabrican su propio alimento en forma de carbohidratos a partir de la luz solar, el agua y el dióxido de carbono en un proceso denominado fotosíntesis (figura 12.1B). Estos carbohidratos proporcionan energía a las plantas y, cuando se combinan con los nutrientes minerales que absorben del suelo o del sustrato, se utilizan para sintetizar las proteínas y otros componentes necesarios para el metabolismo básico y el crecimiento.

Trece nutrientes minerales se consideran esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y se dividen en macronutrientes y micronutrientes según las cantidades encontradas en los tejidos vegetales (cuadro 12.1). Algunos nutrientes minerales tienen una función estructural. Por ejemplo, el nitrógeno es parte integrante de las proteínas de las plantas, y el nitrógeno y el magnesio son componentes estructurales de las moléculas de clorofila que se necesitan para la fotosíntesis (figura 12.2). La comprensión de estas funciones básicas tiene aplicaciones prácticas porque una deficiencia de cualquiera de estos dos nutrientes da a las plantas un aspecto clorótico (es decir, un color amarillento).

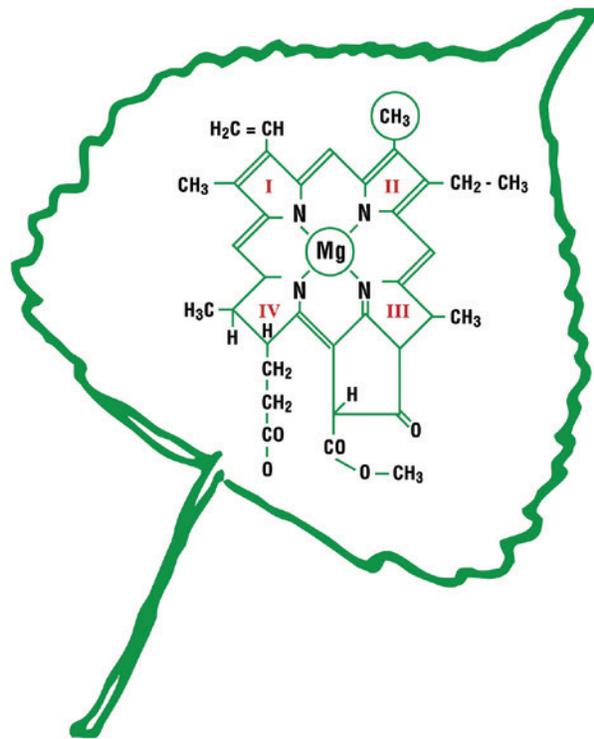


Figura 12.2—Los nutrientes minerales como el nitrógeno y el magnesio son componentes importantes de las moléculas de clorofila que dan a las hojas su color verde y son esenciales para la fotosíntesis. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

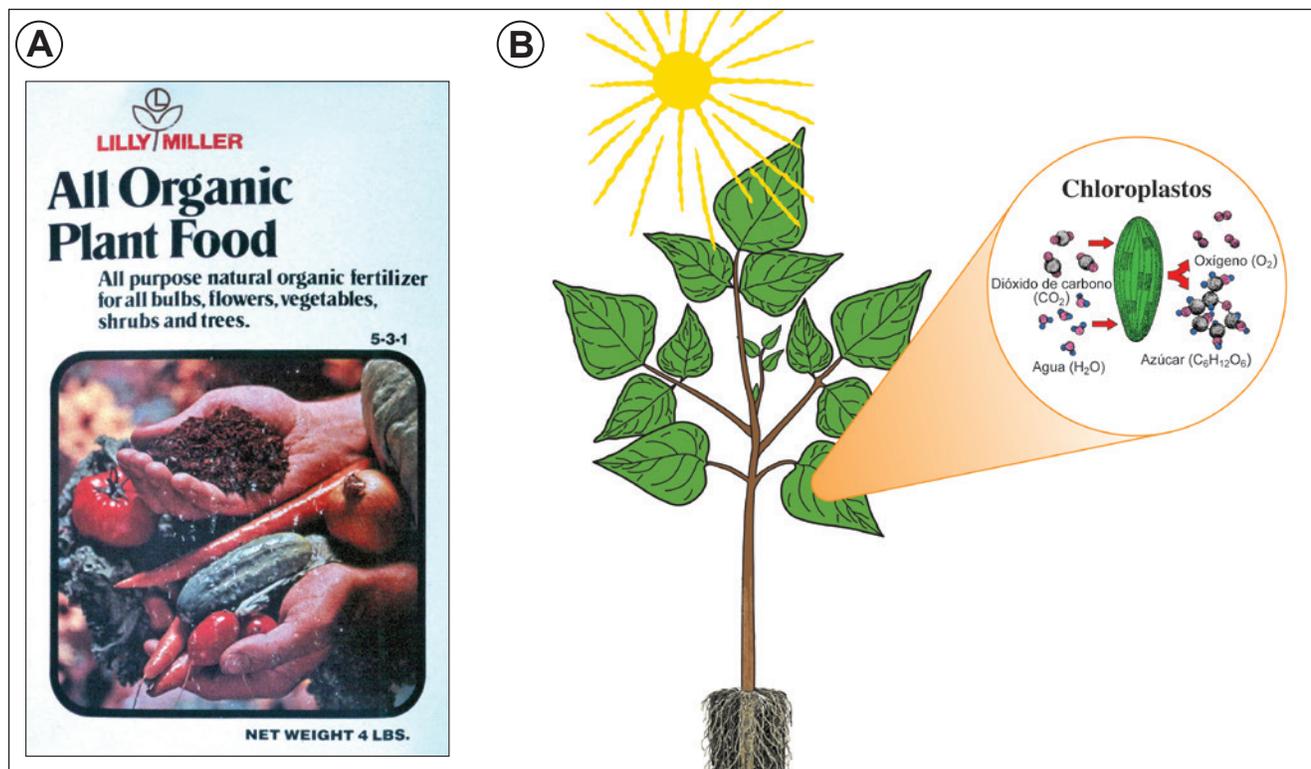


Figura 12.1—Si bien algunos fertilizantes se publicitan como “alimento para las plantas” (A), en realidad las plantas producen su propio alimento mediante el proceso de fotosíntesis en sus hojas verdes (B). Foto A de Thomas D. Landis e ilustración B de Dumroese y otros (2008).

Cuadro 12.1—Los 13 nutrientes esenciales de las plantas (divididos en macronutrientes y micronutrientes). El nitrógeno, el fósforo y el potasio son los elementos fertilizantes más comunes.

Nombre (símbolo)	Porcentaje de tejido vegetal (peso seco en estufa)	Funciones estructurales	Funciones fisiológicas	Síntomas de deficiencia (generales)
Macronutrientes				
Nitrógeno (N)	1.5	Componente de la clorofila, aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos	Vital para todos los procesos fisiológicos a través de sus funciones en los sistemas enzimáticos.	Las hojas viejas se vuelven amarillas (clorosis), el crecimiento de las plantas se atrofia; hojas pequeñas. Se diferencia de la clorosis férrica porque el follaje más viejo es el primero en verse afectado.
Fósforo (P)	0.2	Componente de las paredes celulares y los ácidos nucleicos	Almacenamiento y liberación de energía, funcionamiento de las membranas celulares, regulación de las enzimas y la amortiguación celular.	Algunas plantas muestran una coloración púrpura, pero el retraso en el crecimiento es el síntoma más común.
Potasio (K)	1.0	Ninguna	Ajuste osmótico. Importante para mantener la turgencia celular, el transporte del floema y el crecimiento celular.	Necrosis en los bordes de las hojas, retraso en el crecimiento.
Calcio (Ca)	0.5	Componente de las paredes celulares	Facilita la división celular, estabiliza las membranas celulares, inhibe las infecciones fúngicas y las toxinas.	Desintegración de las paredes celulares, inhibición de los meristemos y especialmente de las puntas de las raíces, mayor susceptibilidad al ataque de hongos.
Magnesio (Mg)	0.2	Component of chlorophyll	Regulates cellular pH and ionic balance, energy transfer, enzyme stabilization.	Interveinal chlorosis or yellowing of needle tips, symptoms may occur in patches.
Azufre (S)	0.1	Mantenimiento de la estructura de las proteínas, componente de las vitaminas y coenzima	Formación de aminoácidos, síntesis de proteínas, transporte de iones a través de las membranas.	Follaje de color verde claro que produce clorosis, visible con frecuencia en el follaje más joven, retraso en el crecimiento.
Micronutrientes				
Hierro (Fe)	0.01	Esencial para la fabricación de clorofila	Catalizador de varios sistemas enzimáticos, especialmente para la fotosíntesis.	Clorosis del follaje más joven; en casos graves las hojas se vuelven blanquecinas.
Manganeso (Mn)	0.005	Componente estructural de los ribosomas	Esencial para la reacción de Hill en la fotosíntesis, la síntesis de los carbohidratos y ácidos nucleicos, y el metabolismo de los lípidos.	Clorosis similar a la deficiencia de hierro, con la excepción de que los casos severos producen necrosis.
Zinc (Zn)	0.002	Componente de varias enzimas	Catalizador de enzimas para el metabolismo de los carbohidratos, síntesis de las proteínas y producción de auxinas.	Acortamiento de los entrenudos (“arrosamiento”) y follaje atrofiado (“enfermedad de la hoja pequeña”). Clorosis o bronceado de las hojas más jóvenes.
Cobre (Cu)	0.0006	Componente de proteínas y enzimas	Funcionamiento fotosintético; metabolismo del fenol, de los carbohidratos y del nitrógeno.	Clorosis, muerte de las puntas, retorcimiento de las puntas de las agujas.
Molibdeno (Mo)	0.00001	Componente de varios sistemas enzimáticos, especialmente para la absorción del nitrógeno	Essential for reducing nitrate ions to ammonium after uptake; critical for nodule function in legumes.	Clorosis y necrosis del tejido de las hojas.
Boro (B)	0.002	Ninguna	Interviene en la división y elongación celular, la lignificación de las paredes celulares y la síntesis de aminoácidos y proteínas.	Distorsión y decoloración de las puntas de los brotes y las raíces, entrenudos cortos de los brotes que producen una apariencia de arbusto o roseta.
Chloride (Cl)	0.01	Ninguna	Ósmosis y equilibrio iónico en las células; evolución del oxígeno fotosintético.	Rara. Marchitamiento de los bordes de las hojas y restricción de la elongación de las raíces.

Otros nutrientes minerales no desempeñan un papel estructural, pero el potasio, por ejemplo, es funcionalmente importante para que las estomas de las hojas se abran y se cierren.

Un concepto importante en la nutrición es la Ley del Mínimo de Liebig, según la cual el mineral más escaso controla el crecimiento de las plantas. Consultar el Capítulo 5, Ambientes de Propagación, para mayor información sobre los factores limitantes. Una buena forma de visualizar el concepto de factores limitantes es un barril de madera con duelas de distinta longitud. Si se vierte agua en el barril, solo se puede llenar hasta la altura del duelo más corto, el factor limitante. En la naturaleza, el nitrógeno es casi siempre un factor limitante para el crecimiento de las plantas, motivo por el cual con frecuencia se aplican fertilizantes nitrogenados en los viveros (figura 12.3).

Tan importante como las cantidades absolutas de nutrientes disponibles para las plantas es el balance de nutrientes. El adecuado balance de nutrientes es relativamente similar entre las especies de plantas y se puede expresar como proporciones de Ingestad. Un tejido vegetal saludable contiene aproximadamente 100 partes de nitrógeno por 50 partes de fósforo por 15 partes de potasio por 5 partes de magnesio por 5 partes de azufre. En la práctica, la mayoría de los viveros de plantas tropicales emplean fertilizantes completos que contienen un balance de todos los nutrientes minerales.

Los pelos de las raíces absorben los nutrientes minerales como dos tipos de iones: cationes y aniones. Los cationes tienen carga eléctrica positiva, mientras que los aniones tienen carga negativa. Las partículas de suelo, la composta y el sustrato artificial también tienen una carga, por lo que los iones nutritivos se adhieren a los sitios con carga opuesta. Usualmente, las raíces liberan un catión (a menudo H^+) o un anión (por ejemplo, HCO_3^-) cuando absorben del suelo o del sustrato un ion nutritivo con la misma carga (figura 12.4). Consultar el Capítulo 6, Sustratos, para mayor información al respecto. Los fertilizantes que se aplican en el vivero se descomponen en iones nutritivos solubles, que luego absorben las raíces de las plantas.

Fuentes de Nutrientes Minerales

Las plantas producidas en viveros que usan contenedores pueden obtener nutrientes de distintas fuentes, entre las que se incluyen el sustrato, el agua de riego, los microorganismos beneficiosos y los fertilizantes. Muchos viveros tropicales utilizan sustratos artificiales que son esencialmente infértiles, lo que permite a los cultivadores aplicar el tipo de fertilizante correcto, en la cantidad correcta y en el momento correcto. Los niveles de nutrientes minerales en un sustrato comercial son generalmente muy bajos, por lo que con frecuencia se enriquecen con una “dosis inicial” de fertilizante. Los suelos nativos y el compost contienen concentraciones de nutrientes más altas que los

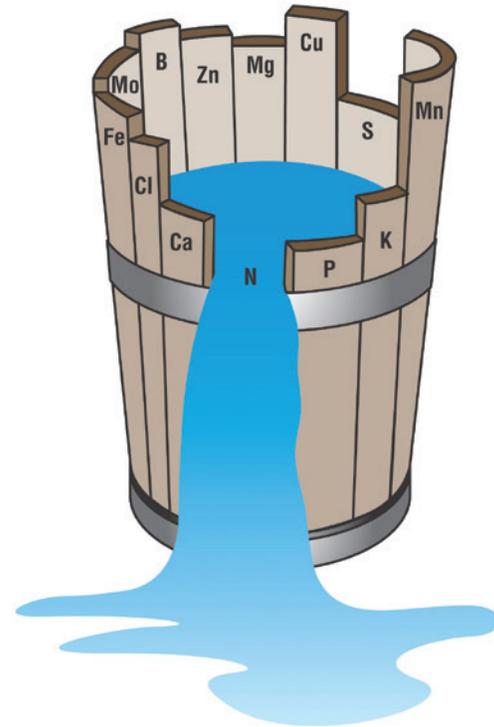


Figura 12.3—El concepto de factores limitantes se puede ilustrar con un barril de madera que puede llenarse con agua solo hasta la primera duela. En este ejemplo, el nitrógeno (N) es el factor más limitante, lo que es usual en los viveros. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

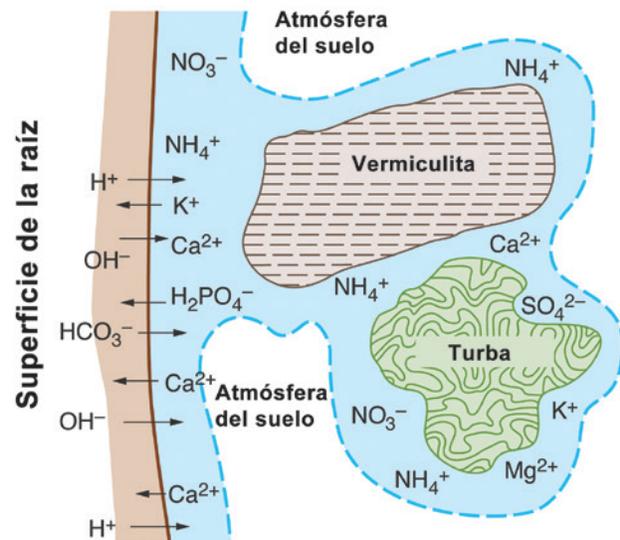


Figura 12.4—Los cationes y aniones nutritivos son extraídos por las raíces de las plantas a través de un proceso de intercambio con el suelo, el compost o los sustratos artificiales. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

sustratos comerciales, pero rara vez son suficientes para lograr la rápida tasa de crecimiento y balance de nutrientes que se desea en los viveros. Si se va a utilizar suelo u otro sustrato casero, se puede realizar una prueba de suelo para determinar

qué nutrientes faltan (consultar la sección referida a pruebas en los siguientes párrafos).

Otra posible fuente de nutrientes minerales en los viveros es el agua de riego. El “agua dura” suele contener suficiente calcio y magnesio para el buen crecimiento de las plantas. El azufre es otro nutriente que se suele encontrar en las fuentes de agua. Los microorganismos beneficiosos pueden constituir una importante fuente de nitrógeno para algunas especies, tales como las leguminosas, según se detalla en el Capítulo 13, Microorganismos Beneficiosos.

Para lograr el crecimiento y salud de las plantas que se desea, los fertilizantes representan la fuente de nutrientes minerales más común en los viveros de plantas tropicales. Los cultivadores necesitan conocer bien los tipos de fertilizantes y cómo y cuándo aplicarlos. En los viveros de plantas tropicales se emplean muchos diferentes tipos de fertilizantes que varían en función de sus materiales de origen, las cantidades de nutrientes y los mecanismos de entrega de nutrientes. Los fertilizantes se dividen en dos principales categorías: orgánicos (figura 12.5A) y sintéticos (figura 12.5B).

La ley exige que las etiquetas de todos los fertilizantes comerciales indiquen la relación nitrógeno:fósforo:potasio (en realidad, los óxidos de fósforo y potasio; $N:P_2O_5:K_2O$) y un análisis completo de nutrientes en la etiqueta (figura 12.5C). Algunos fertilizantes contienen solo un nutriente mineral, mientras que otros contienen varios. Algunos ejemplos de fertilizantes con un solo nutriente son el nitrato de amonio (34-0-0) o el superfosfato concentrado (0-45-0). Los fertilizantes se pueden mezclar o hacer reaccionar para suministrar dos o más nutrientes esenciales. Un ejemplo de fertilizante mezclado es un 12-10-8, que se formó agregando superfosfato triple (0-46-0), sulfato de magnesio y potasio (0-0-22) y nitrato de amonio (34-0-0). Un ejemplo de fertilizante de múltiples nutrientes es el nitrato de potasio (13-0-44).

Algunos viveros de plantas tropicales prefieren los fertilizantes orgánicos porque es menos probable que quemen los cultivos si se aplica demasiado y el riesgo de contaminación del agua es menor. Si se está inoculando con microorganismos beneficiosos, normalmente se prefieren los fertilizantes orgánicos. Las principales desventajas de los fertilizantes orgánicos son su mayor costo y el hecho de que su menor



Figura 12.5—Los dos principales tipos de fertilizantes comerciales son los orgánicos (A) y los sintéticos (B). La etiqueta de todos los fertilizantes debe indicar la relación nitrógeno:fósforo:potasio e incluir una lista completa de los nutrientes minerales (C). Fotos de Thomas D. Landis.

contenido de nutrientes y solubilidad hacen más lento el crecimiento de las plantas. La mayor parte de la investigación en viveros de plantas tropicales se ha realizado con fertilizantes sintéticos porque son económicos, fácilmente solubles y los cultivos los absorben rápidamente. Los fertilizantes sintéticos son populares entre los cultivadores, ya que estimulan las rápidas tasas de crecimiento que se desea lograr en los viveros.

Fertilizantes Orgánicos

Hasta inicios del siglo XX, casi todos los fertilizantes que se utilizaban en la agricultura, incluidos los viveros, eran orgánicos. La escasez de nitrato chileno, una importante fuente de nitrógeno orgánico, dio lugar al desarrollo del proceso Haber-Bosch, que convierte el gas nitrógeno presente en cantidades abundantes en nuestra atmósfera en amoníaco. Este amoníaco puede luego convertirse químicamente en una vasta gama de fertilizantes sintéticos. Después de la Segunda Guerra Mundial, estos fertilizantes sintéticos basados en amoníaco se volvieron baratos y fácilmente accesibles, y el uso de fertilizantes orgánicos cayó del 91% a inicios de la década de 1900 a 3% hacia la década de 1950. Sin embargo, en las últimas décadas, la agricultura orgánica ha resurgido debido a cambios en los valores públicos. En áreas tropicales, está creciendo la preocupación por las implicancias ambientales y económicas de la fabricación, transporte y uso de fertilizantes sintéticos. En respuesta a esta creciente demanda, se ha desarrollado una amplia variedad de fertilizantes orgánicos y muchos de ellos tienen una aplicación potencial en viveros de plantas.

Definir a los fertilizantes orgánicos puede ser una labor complicada y confusa y gran parte de esta confusión es de carácter terminológico. Para nuestros propósitos, los fertilizantes orgánicos pueden definirse como materiales que están presentes de forma natural y no han sido sintetizados; y reconocemos dos categorías generales: residuos animales o vegetales y minerales naturales (figura 12.6).

Residuos Animales o Vegetales

Estos materiales son lo que la mayoría de personas considera fertilizantes orgánicos y pueden aplicarse a los cultivos directamente o transformarse en una amplia variedad de otros fertilizantes procesados. Uno de los atractivos de estos tipos de fertilizantes orgánicos es que son renovables y están ampliamente disponibles.

Productos Orgánicos no Procesados

Esta categoría es, de lejos, la más grande y complicada, pues casi todos los tipos de residuos animales o vegetales pueden emplearse como fertilizante, incluido el estiércol animal, los lodos residuales y el musgo de turba. En áreas tropicales, el guano es un excelente fertilizante orgánico y está compuesto por excremento acumulado de aves marinas o murciélagos. El guano tiene

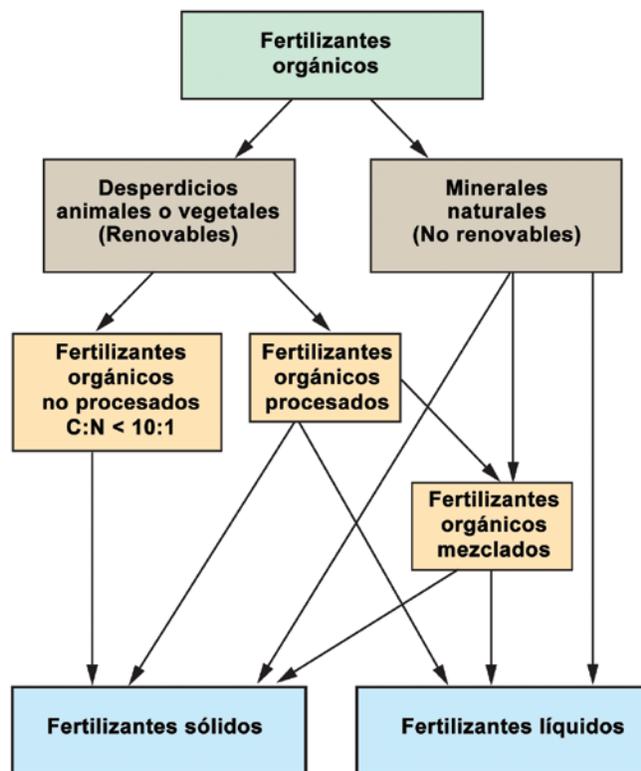


Figura 12.6—La terminología de los fertilizantes orgánicos es complicada, pero varios tipos se pueden ilustrar en este flujo-grama de Landis y Dumroese (2011).

altos niveles de fósforo y nitrógeno y no tiene un olor perceptible. Una de las operaciones mineras más grandes se desarrolló en la pequeña isla de Nauru, ubicada en el Pacífico Sur, donde siglos de deposiciones de aves marinas generaron vastas reservas de guano mineralizado.

El mejor criterio para determinar qué tipos de materia orgánica no procesada son fertilizantes adecuados es la relación carbono:nitrógeno (C:N). Los materiales orgánicos con una relación C:N menor de 10:1 son considerados fertilizantes. El uso de productos orgánicos no procesados puede representar un desafío debido a su alto potencial de contaminación del agua.

Productos Orgánicos Procesados

Esta categoría incluye cualquier material orgánico que ha experimentado algún tipo de procesamiento antes de usarse como fertilizante sólido o líquido e incluye compost, harina de sangre, harina de huesos y materiales tales como harina de plumas y extractos de algas (cuadro 12.2). El estiércol es una buena fuente de nutrientes, pero siempre necesitará ser compostado primero para que no dañe a las plantas o contamine el agua. Una forma de probar si el estiércol ha sido suficientemente compostado para su uso como fertilizante es colocar unos cuantos puñados en una bolsa plástica y cerrar la bolsa por 24 horas. Si el material no huele mal o desprende calor al final del periodo de prueba, está listo para ser usado; de lo

Cuadro 12.2—Porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio suministrados por una variedad de materiales orgánicos. Adaptado de Diver y otros (2008).

Fertilizantes orgánicos	N	P	K
Guano de murciélago (fresco)	10	3	1
Guano de murciélago (antiguo)	2	8	0
Harina de sangre	10	0	0
Harina de huesos (al vapor)	1	11	0
Harina de algodón	6	2	1
Cáscaras de huevo	1.2	0.4	0.1
Emulsión de pescado	4	1	1
Harina de pescado	5	3	3
Arena verde	0	0	7
Harina de cascos y cuernos	12	2	0
Harina de algas	1.5	0.5	2.5
Harina de soja	7.0	0.5	2.3
Humus de lombriz	0.5	0.5	0.3
Estiércol			
Vaca	2	2.3	2.4
Caballo	1.7	0.7	1.8
Cerdo	2	1.8	1.8
Oveja	4	1.4	3.5
Aves	4	4	2

N = Nitrógeno, P = Fósforo, K = Potasio

contrario, necesitará más compostaje. Casi cualquier materia orgánica de desecho puede ser compostada y el proceso de compostaje está bien documentado. Consultar el Capítulo 6, Sustratos, para mayor información al respecto. En la actualidad, se pueden encontrar muchos nuevos fertilizantes orgánicos procesados en fuentes de suministro hortícola.

Toda persona que considere el uso de fertilizantes orgánicos procesados necesita probarlos primero para decidir si requieren compostaje, determinar las tasas de aplicación adecuadas e identificar las posibles toxicidades o deficiencias de nutrientes. Además, es aconsejable iniciar pruebas a pequeña escala con cualquier nuevo fertilizante a fin de evitar posibles problemas y determinar las tasas de crecimiento de las plantas.

Fertilizantes Minerales Naturales

Esta segunda categoría importante de fertilizantes orgánicos incluye minerales y otros materiales que provienen directamente de la tierra (figura 12.6). Minerales como el nitrato de sodio se usan con frecuencia en muchos fertilizantes orgánicos mezclados porque son solubles y tienen un alto contenido de nutrientes. Sin embargo, al igual que todos los tipos de minería, la obtención de minerales naturales es un proceso extractivo y no renovable a largo plazo.

Fosfato de Roca

Los depósitos naturales de fluorapatita son la materia prima de la mayoría de fertilizantes fosfatados y actualmente se extraen en África del Norte, la antigua Unión Soviética así como en Florida, Idaho, Montana, Utah y Tennessee. El mineral en bruto contiene de 14 a 35% de fosfato (P_2O_5) y se procesa moliéndolo y lavándolo hasta convertirlo en un fertilizante granular fino. La roca fosfórica es muy insoluble en agua y constituye un efectivo fertilizante granular de liberación lenta. Debido a su baja solubilidad, la roca fosfórica ha sido recomendada como un fertilizante de fósforo ideal para promover el desarrollo de las micorrizas.

Nitrato de Sodio

Esta sal ($NaNO_3$) se conoce comúnmente como salitre chileno o peruano debido a los grandes depósitos de mineral de caliche que se encuentran en ambos países. Si bien este fertilizante se ha utilizado en agricultura orgánica por muchos años, varias agencias de certificación orgánica han llegado a la conclusión de que los fertilizantes minerales extraídos entran en conflicto con los principios orgánicos básicos. Por ejemplo, actualmente el Programa Nacional Orgánico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), restringe el uso de nitrato de sodio a menos de 20% del total de nitrógeno aplicado anualmente y exige que los cultivadores eliminen su uso gradualmente.

Sulfato de Magnesio

Este mineral ($MgSO_4$) comprende sales de Epsom o Kieserita. Aunque se utiliza mayormente para fines medicinales, el sulfato de magnesio es una fuente de magnesio y azufre altamente soluble y se ha empleado en la formulación de fertilizantes líquidos para cultivos de viveros de árboles en contenedores.

Sul-Po-Mag

Técnicamente conocido como sulfato de potasio y magnesio o langbeinita, esta sal se extrae de los depósitos de evaporita marina y es un componente común en muchos fertilizantes orgánicos mezclados. Se descubrió originalmente en Alemania y contiene nutrientes solubles en la siguiente proporción: 22% de potasio, 22% de azufre y 11% de magnesio. Otro de sus

nombres comunes es K-Mag Natural, un producto ideal para suministrar potasio y azufre sin que esté presente el nitrógeno.

Fertilizantes Orgánicos Mezclados

Esta categoría de fertilizantes orgánicos incluye una amplia variedad de productos que contienen una mezcla de residuos orgánicos procesados de origen vegetal o animal suplementados con minerales naturales (figura 12.7). Los fertilizantes orgánicos mezclados se pueden identificar fácilmente con tan solo leer los ingredientes que figuran en sus etiquetas.

Fertilizantes Orgánicos Sólidos

Los fertilizantes en polvo o granulares pueden obtenerse de productos orgánicos no procesados, productos orgánicos procesados, minerales naturales o productos orgánicos mezclados (figura 12.6). Los fertilizantes orgánicos sólidos no se han utilizado mucho en los viveros de plantas nativas o forestales. Sin embargo, Biosol® (6-1-3) es un fertilizante orgánico sólido suplementado con Sul-Po-Mag y tiene potencial para su uso en viveros.

Fertilizantes Orgánicos Líquidos

Esta categoría de fertilizantes orgánicos puede obtenerse de productos orgánicos procesados, minerales naturales o productos orgánicos mezclados (figuras 12.5A, 12.6). Los ingredientes podrían incluir fertilizantes tales como residuos de pescado, harina de soja, algas, alimentos reciclados, guano de murciélago, sulfato de potasa, harina de plumas, harina de sangre, harina de huesos al vapor o cualquier cantidad de otros ingredientes. Muchos productos están diseñados para cultivos específicos, pero otros son mayormente de uso general. Algunos fertilizantes orgánicos líquidos contienen material en suspensión y deben filtrarse o agitarse continuamente durante la fertirrigación para evitar que el material obstruya las boquillas.

Fertilizantes Sintéticos

Los fertilizantes sintéticos más importantes se elaboran mediante el proceso Haber-Bosch, en el que el nitrógeno atmosférico se convierte en amoníaco a altas temperaturas y presión. Este proceso, que fue calificado como la invención más importante del siglo XX, produce 500 millones de toneladas de fertilizante artificial por año. Los fertilizantes sintéticos son populares porque son relativamente económicos y fácilmente accesibles y tienen un alto contenido de nutrientes en comparación con los productos orgánicos. En las zonas tropicales pobladas, los fertilizantes sintéticos se pueden encontrar en las tiendas de suministros de jardinería y a través de comerciantes de horticultura, pero la inaccesibilidad y los costos de transporte pueden representar una limitación en áreas remotas. En los trópicos húmedos, el almacenamiento de fertilizantes sintéticos se convierte en un desafío porque absorben fácilmente la humedad del aire.

(A)



(B)

Guaranteed Analysis	
5 - 5 - 5	
Total Nitrogen (N)	5%
0.1% Ammoniacal Nitrogen	
1.4% Water Soluble Nitrogen	
3.5% Water Insoluble Nitrogen	
Available Phosphate (P ₂ O ₅).....	5%
Soluble Potash (K ₂ O)	5%
Derived from: Bone meal, sulfate of potash, blood meal, dried poultry waste, feather meal, alfalfa meal and kelp meal	

Figura 12.7—Los fertilizantes orgánicos mezclados (A) contienen materiales orgánicos procesados y minerales naturales, como el sulfato de potasa (B). Fotos de Thomas D. Landis.

Cuadro 12.3—Comparación de las ventajas y desventajas de dos tipos importantes de fertilizantes sintéticos que se utilizan en los viveros de plantas tropicales.

Factor	Fertilizante soluble	Fertilizante de liberación controlada
Velocidad de liberación de nutrientes	Muy rápida	Mucho más lenta —depende del tipo y el grosor del recubrimiento así como de la temperatura y la humedad
Cantidad de aplicaciones	Múltiple —debe aplicarse a intervalos regulares	Usualmente una vez por estación, pero es posible aplicar una capa superficial adicional.
Uniformidad de aplicación	Buena, pero depende de la cobertura de riego	Puede ser variable si se incorpora, lo que provoca un crecimiento desigual
Ajuste de las tasas y proporciones de nutrientes	Fácil y rápido	Difícil
Eficiencia en la absorción de nutrientes	Menor	Mayor
Potencial de lixiviación y contaminación	Más alto	Más bajo
Potencial de quema de fertilizantes (toxicidad de la sal)	Bajo, si se aplica adecuadamente	Bajo, a menos que los gránulos se dañen durante la incorporación o después de altas temperaturas
Costo del producto	Más bajo	Más alto
Costos de aplicación	Más altos	Más bajos

Los fertilizantes sintéticos pueden dividirse en dos clases: (1) productos solubles que liberan nutrientes rápidamente cuando se disuelven en agua y (2) fertilizantes de liberación lenta o controlada que liberan los nutrientes de manera gradual. Ambas clases de fertilizantes tienen sus ventajas y desventajas, las cuales deben tomarse en consideración antes de elegir un sistema de fertilización (cuadro 12.3). Para los viveros de plantas tropicales no se recomiendan otros tipos de fertilizantes granulares que se usan para el césped o en la agricultura.

Fertilizantes Solubles

Los fertilizantes sintéticos solubles vienen en gránulos

o en cristales solubles en agua (figura 12.8A). Usualmente, los fertilizantes solubles se inyectan al sistema de riego, un proceso denominado fertirrigación (consultar el desarrollo de este tema en la siguiente sección). Su popularidad se debe al hecho de que las dosis de aplicación se pueden calcular fácilmente, la distribución es tan uniforme como el sistema de riego y, si se formulan y aplican adecuadamente, las probabilidades de que el fertilizante se queme son muy bajas (cuadro 12.3). Al ser inmediatamente solubles, los nutrientes de estos fertilizantes están rápidamente disponibles para su absorción por las plantas y es fácil ajustar los niveles y proporciones de nutrientes, lo que le permite al cultivador tener bastante control sobre las tasas de crecimiento de las



Figura 12.8—Los dos principales tipos de fertilizantes sintéticos utilizados en los viveros de plantas nativas son los cristales solubles que se disuelven completamente en el agua (A) y los fertilizantes de liberación controlada recubiertos de polímero que son solubles dentro de una fina cubierta de plástico. Estos “gránulos” vienen en una variedad de tamaños, formulaciones de nutrientes y tasas de liberación (B). Foto A de Thomas D. Landis y foto B de Douglas F. Jacobs.

plantas. Cuando se cultiva una variedad de especies de plantas en la misma área, es necesario separarlas en función de sus tasas de crecimiento relativo, por lo que se pueden aplicar distintas mezclas de fertilizantes. La mayor desventaja de los fertilizantes solubles es su relativamente baja eficiencia en la absorción de nutrientes y su consiguiente alta tasa de lixiviación. Debido a su solubilidad, algunos nutrientes que las plantas no usan o que se mantienen en los sitios de intercambio de cationes del sustrato se lixivian con cada riego. Los sistemas fijos de riego por aspersión aplican la solución de fertilizante tanto a los pasillos como a las plantas, por lo que todos estos nutrientes se escurren y pueden causar contaminación.

Algunas veces se aplican tipos especiales de fertilizante soluble en agua para estimular la absorción a través del follaje (“alimentación foliar”). Aunque este parece ser un buen método de fertilización, recuerde que todas las hojas están cubiertas por una cutícula repelente al agua, por lo que la absorción foliar es muy ineficiente. En realidad, se produce una mayor absorción de nutrientes a través de las raíces como resultado de la solución de fertilizante que discurre hacia el suelo o sustrato en lugar de hacer a través del follaje en sí. Se debe tener especial cuidado para evitar que la sal dañe el follaje. Por lo tanto, no recomendamos la alimentación foliar para viveros pequeños.

Fertilizantes de Liberación Controlada

Los fertilizantes recubiertos están compuestos por un núcleo de fertilizante soluble en agua cubierto por una barrera menos soluble, que afecta la velocidad de liberación de nutrientes. Los recubrimientos más comunes de los fertilizantes de liberación controlada (FLC) son el azufre o un material polimérico. La principal ventaja de los FLC es que la liberación gradual de los nutrientes aumenta la eficiencia en la absorción de nutrientes y reduce el potencial de contaminación (cuadro 12.3). En muchos casos, los FLC necesitan aplicarse una sola vez. El uso de los FLC le permite a los cultivadores suministrar nutrientes por un periodo prolongado sin tener que contar con los equipos especializados requeridos para aplicar fertilizantes solubles en agua. Algunas marcas populares de fertilizantes recubiertos de polímero son Osmocote®, Nutricote® y Polyon®, que tienen una variedad de formulaciones para distintas especies de plantas y distintos ciclos de crecimiento. Algunas tasas de liberación son tan lentas que pueden aportar un beneficio adicional después del trasplante.

Los FLC recubiertos de polímero son ampliamente usados en los viveros de plantas tropicales. Los “gránulos” redondos recubiertos de polímero (figura 12.8B) tienen una liberación de nutrientes más uniforme que los productos recubiertos de azufre. Además, los gránulos pueden formularse de modo que contengan tanto macronutrientes como micronutrientes (cuadro 12.4), mientras que los productos recubiertos de azufre generalmente solo suministran nitrógeno.

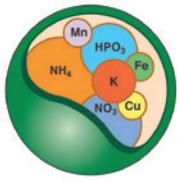
La liberación de nutrientes en los FLC recubiertos de

Cuadro 12.4—Análisis de nutrientes del fertilizante de liberación controlada 15-9-12 Osmocote® Plus. Adaptado de Everris Company (2012).

Nutriente	Porcentaje
Macronutrientes	
Nitrógeno (7% de amonio; 8% de nitrato)	15
Fósforo (P ₂ O ₅)	9
Potasio (K ₂ O)	12
Calcio	0
Magnesio	1.3
Azufre	5.6
Micronutrientes	
Hierro (0.09% soluble, 0.01% quelado)	0.46
Manganeso	0.06
Zinc	0.05
Cobre	0.05
Boro	0.02
Molibdeno	0.02

polímero es un proceso de múltiples pasos. Durante el primer riego, el vapor de agua se absorbe a través de los poros microscópicos del recubrimiento. Este proceso crea un gradiente de presión osmótica en el interior del gránulo, lo que ocasiona que el recubrimiento de polímero flexible se expanda. Esta expansión agranda los diminutos poros y permite que los nutrientes minerales se liberen gradualmente en el suelo o el sustrato (figura 12.9). Aparte del agua, la temperatura es el principal factor que afecta la velocidad de este proceso. Por lo general, la liberación de nutrientes aumenta con el incremento de la temperatura. En climas tropicales cálidos, los cultivadores pueden esperar que los FLC se liberen a velocidades más rápidas que las indicadas en la etiqueta. El fabricante ajusta las velocidades de liberación de los productos recubiertos de polímero modificando el grosor y la naturaleza del material polimérico, y las duraciones varían entre 3 y 18 meses aproximadamente.

Otros tipos de FLC son los productos de reacción con nitrógeno, tales como la urea-formaldehído y el Fertilizante de Microgrado IBDU (isobutilendiurea). Estos fertilizantes se crean a través de una reacción química de compuestos de nitrógeno solubles en agua, lo que da lugar a una estructura molecular más compleja con un grado de solubilidad en



La velocidad de liberación de FLC varía con:

- (1) tipo de recubrimiento y grosor
- (2) agua
- (3) temperatura en aumento

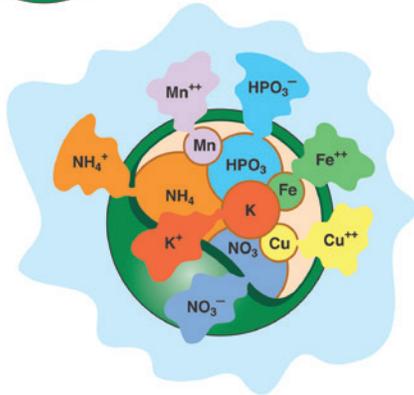


Figura 12.9—La liberación de nutrientes en los fertilizantes recubiertos de polímero se produce después de que el vapor de agua se absorbe a través de la membrana de los gránulos, creando una gradiente de presión osmótica que expande los poros dentro del recubrimiento y permite que los nutrientes de los fertilizantes ingresen al sustrato. Ilustración de Dumroese y otros (2008).

agua muy limitado. La velocidad de liberación de nutrientes de la urea formaldehído es controlada por muchos factores, entre los que se encuentran la temperatura del suelo, la humedad, el pH y la aireación, mientras que IBDU se vuelve disponible principalmente mediante hidrólisis. Rara vez se utilizan estos materiales en la producción de plantas nativas tropicales en contenedor, pero algunas veces se aplican al momento del trasplante.

Comparación Entre los Fertilizantes Orgánicos y los Fertilizantes Sintéticos

Debido a la variabilidad involucrada, es difícil comparar los fertilizantes orgánicos y los fertilizantes sintéticos, pero se pueden hacer algunas generalizaciones (cuadro 12.5).

Análisis de Nutrientes Minerales

Los análisis de casi todos los fertilizantes orgánicos muestran valores de nutrientes minerales relativamente bajos. El porcentaje de nitrógeno rara vez supera el 15% y suele estar comprendido entre el 5% y el 10% (figura 12.7B). Los productos con valores más altos usualmente están suplementados con minerales naturales como el nitrato de sodio. Los fertilizantes orgánicos muchas veces contienen los 13 nutrientes minerales. Los fertilizantes sintéticos pueden formularse de manera especial de modo que solo contengan unos cuantos macronutrientes o una gama

Cuadro 12.5—Comparación entre fertilizantes orgánicos y fertilizantes sintéticos.

Factor	Fertilizante orgánico	Fertilizante sintético
Análisis de nutrientes minerales	Low	Valores altos
Gama de nutrientes minerales	All	De uno a muchos
Velocidad de liberación de nutrientes	Slower	Más rápida
Compatibilidad con microorganismos beneficiosos	Yes	En niveles bajos
Costo	More	Más bajo
Manipuleo	Bulkier	Más concentrada
Sostenibilidad ecológica	Yes	No
Riesgo de contaminación del agua	Low	Alto
Otros beneficios	Mejoran la textura del suelo y estimulan a los microbios del suelo	Más adecuados para fines de investigación

de todos los nutrientes minerales.

Velocidad de Liberación de Nutrientes

Una de las principales diferencias entre los fertilizantes orgánicos y los sintéticos es la rapidez con la que sus nutrientes están disponibles para las plantas. Los fertilizantes sintéticos solubles se formulan como sales y están rápidamente disponibles, mientras que en el caso de los FLC sintéticos existe un rango de velocidades de liberación que depende del grosor del recubrimiento. Primero los fertilizantes orgánicos no procesados deben descomponerse en partículas más pequeñas por los microorganismos del suelo y luego se convertirán en solubles. Incluso los fertilizantes orgánicos procesados contienen un gran porcentaje de nitrógeno insoluble que debe someterse a descomposición microbiana antes de estar disponible para la absorción de las plantas. Un beneficio de los fertilizantes orgánicos líquidos es que ya se encuentran en forma de solución o, por lo menos, en forma de suspensión acuosa.

Compatibilidad con Microorganismos Beneficiosos

Quizá uno de los beneficios menos valorados de los fertilizantes orgánicos es que promueven el crecimiento de microorganismos beneficiosos del suelo, entre ellos los

hongos micorrícicos y las bacterias fijadoras de nitrógeno, ya que los nutrientes se liberan lentamente y el componente orgánico mejora las condiciones del suelo. Las investigaciones han demostrado que la presencia de altos niveles de fertilizantes sintéticos solubles, especialmente nitrógeno y fósforo, puede inhibir el arraigo y desarrollo de hongos micorrícicos. Esto es particularmente evidente en los sustratos sin suelo de las plántulas en contenedor, donde las aplicaciones de fertilizantes solubles y sintéticos son comunes.

Costo

Es difícil hacer una comparación entre los costos de los fertilizantes, pues cada fertilizante contiene diferentes porcentajes de nutrientes y los valores deben compararse por peso o por volumen. Aunque pueden ser más costosos estrictamente en función de cada nutriente, tanto los fertilizantes orgánicos comerciales procesados como los no procesados proporcionan muchos otros beneficios que son difíciles de valorar, incluida la adición de materia orgánica y la estimulación de los microorganismos del suelo (cuadro 12.5). Los fertilizantes sintéticos también tienen costos ocultos, tales como las emisiones de carbono durante su fabricación y los efectos ecológicos del mayor potencial de contaminación del agua. Para los cultivadores tropicales, la posibilidad de reducir los costos de transporte al emplear fertilizantes orgánicos comerciales suministrados localmente o fertilizantes orgánicos caseros puede resultar atractiva. En última instancia, los fertilizantes solo representan un porcentaje muy pequeño del costo de producir plantas madre de vivero, por lo que el precio podría no ser un factor determinante a la hora de decidir qué tipo de fertilizante usar.

Manipuleo y Aplicación

Debido a su volumen y bajos niveles de nutrientes, los fertilizantes orgánicos no procesados tienen costos de embarque, almacenamiento y aplicación más altos que los fertilizantes sintéticos. Por el contrario, los fertilizantes sintéticos son más uniformes en términos de calidad, presentan niveles de nutrientes más altos por peso unitario y son mucho más fáciles de aplicar a los cultivos.

Sostenibilidad Ecológica y Contaminación del Agua

Uno de los beneficios reales de los fertilizantes orgánicos es que son más ambientalmente amigables y muchos de ellos se pueden obtener de materiales reciclados. Los viveros no solo pueden reciclar las plántulas que desechan, la mala hierba y otros materiales orgánicos mediante el compostaje, sino que también pueden servir para reciclar hojas, recortes de jardín y otros residuos orgánicos de

este tipo provenientes de la comunidad local que, de otro modo, irían a parar a los vertederos (Morgenson 1994).

Los nutrientes de los fertilizantes orgánicos son mucho más susceptibles a la lixiviación que los de los fertilizantes sintéticos. Tanto los fertilizantes orgánicos procesados como los no procesados liberan sus nutrientes lentamente y de una forma que permanece en el perfil del suelo. Los fertilizantes sintéticos, especialmente las formulaciones solubles, con frecuencia liberan sus nutrientes con una rapidez mucho mayor que aquella con la que las plantas pueden utilizarlos, y el exceso de nutrientes puede contaminar las aguas superficiales o subterráneas.

Tasas y Métodos de Aplicación de Fertilizantes

Las tasas de aplicación de fertilizantes dependen del entorno de crecimiento y de otros factores culturales tales como el volumen del contenedor, el tipo de sustrato y la frecuencia de riego. En particular, el tamaño del contenedor de crecimiento tiene un efecto profundo sobre la mejor tasa y frecuencia de aplicación. Los contenedores muy pequeños requieren tasas de aplicación más bajas y frecuentes, mientras que los contenedores grandes pueden tolerar tasas de aplicación altas y menos frecuentes. En el caso de la mayoría de los fertilizantes, los fabricantes especifican tasas de aplicación recomendadas generales para las plantas de viveros de contenedor en las etiquetas de los contenedores. Además, la experimentación, la consulta con otros cultivadores y la elaboración de protocolos de propagación (consultar el Capítulo 4, Planificación de los Cultivos: Protocolos de Propagación, Cronogramas y Registros) ayudarán a refinar las tasas de aplicación de fertilizantes a las especies de plantas nativas.

Fertirrigación para la Aplicación de Fertilizantes Solubles

Algunos viveros de plantas tropicales aplican fertilizantes solubles a través de sistemas de riego, un proceso conocido como fertirrigación. La elección del mejor método de fertirrigación depende del tipo de riego y del tamaño y sofisticación del vivero. El método más simple es mezclar fertilizantes solubles y agua en un contenedor de riego o utilizar un

Precaución: Todo inyector de fertilizante debe instalarse con una válvula antirretorno para eliminar la posibilidad de que el fertilizante soluble pueda ser absorbido por la línea de agua y contaminar el agua potable.

inyector de manguera, y regar las plantas manualmente. Sin embargo, este método puede ser tedioso y demandar mucho tiempo cuando se fertirriga una gran cantidad de plantas. Por otro lado, este método puede ser apropiado para viveros más pequeños donde se cultivan muchas especies distintas con diferentes necesidades de fertilizante.

Los inyectores de fertilizantes son una forma mucho más precisa de aplicar fertilizantes solubles, especialmente cuando se cultivan grandes cantidades de plantas que tienen las mismas necesidades de fertilizantes. Los inyectores más simples son conocidos como mezcladores de sifón (figura 12.10A), y Hozon™ y EZ-FLO® son marcas comunes cuyo costo oscila entre los \$20 y \$200. Los inyectores de sifón se conectan al grifo de agua y tienen un pedazo de tubo de caucho insertado en una solución concentrada de fertilizante (figura 12.10B). Cuando se conecta una manguera de riego al otro extremo del inyector y se abre el grifo, el flujo a través de la manguera provoca una succión que arrastra la solución fertilizante hacia arriba y la mezcla con el agua en una proporción fija. Por ejemplo, el inyector Hozon™ inyecta una parte de fertilizante soluble a 16 partes de agua, lo que equivale a una proporción de inyección de 1:16. Tome en cuenta que este inyector requiere una presión de agua de por lo menos 30 libras por pulgada cuadrada (lb/in² [psi]) (0.207 MPa) para funcionar correctamente, mientras que el EZ-FLO® funciona con presiones de agua tan bajas como 5 psi (0.034 Mpa).

Inyectores de fertilizantes más complicados, pero más precisos, cuestan entre aproximadamente \$300 y más de \$3,000. Por ejemplo, Dosatron® es un inyector de tipo bomba de agua que se instala directamente en la línea de riego y bombea la solución de fertilizante a la tubería de riego en un rango de proporciones de inyección (figura 12.10C). Entre los sistemas de fertirrigación de tecnología más avanzada se encuentra la barra hidráulica automatizada, que proporciona una cobertura muy consistente y uniforme de agua y fertilizante al cultivo. Sin embargo, el precio relativamente alto de las barras de riego las hace inaccesibles para la mayoría de los viveros de plantas. Todo inyector debe calibrarse luego de su instalación para verificar la proporción de inyección de fertilizante y luego revisarse mensualmente para asegurar que siga funcionando correctamente.

Algunos nutrientes, principalmente el calcio y el magnesio, son muy insolubles en el agua y pueden incluso causar problemas de solubilidad en las soluciones concentradas de fertilizante. Si no están presentes de forma natural en el agua de riego, el calcio y el magnesio deben suministrarse en una solución fertilizante separada o en una enmienda de piedra caliza dolomítica al sustrato.

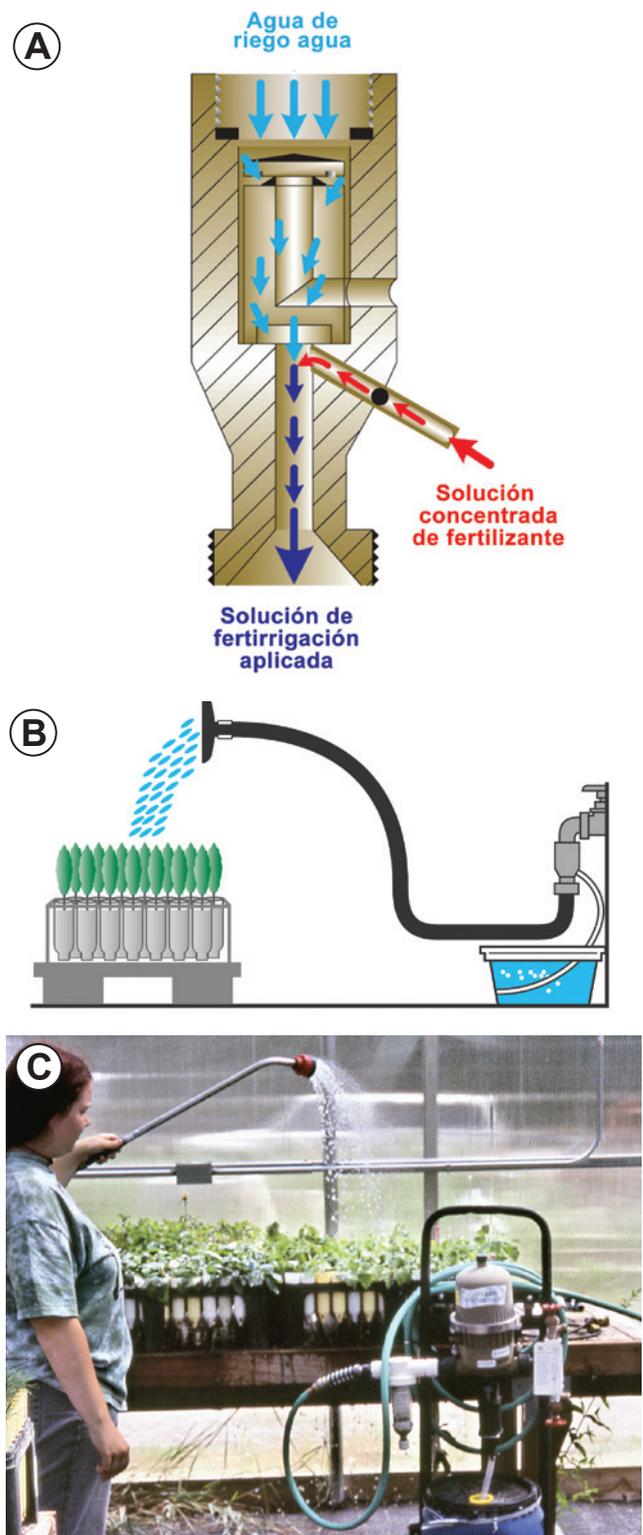


Figura 12.10—Los fertilizantes solubles pueden mezclarse con agua y aplicarse al cultivo, un proceso conocido como “fertirrigación.” Un inyector de sifón (A) succiona la solución concentrada de fertilizante, la mezcla con agua de riego, y luego la solución de fertirrigación se aplica con una manguera (B) u otro sistema de riego. El inyector Dosatron® (C) permite un control más preciso de las proporciones de inyección. Las ilustraciones A y B son cortesía de Hummert™ International y la foto C es de Tara Luna.

Aplicación de Fertilizantes de Liberación Controlada

Los FLC pueden ser aplicados (espolvoreados en la parte superior del contenedor) si se tiene cuidado de que cada contenedor o celda reciba el mismo número de gránulos (figura 12.11A, cuadro 12.6). Se puede utilizar una varilla de aplicación especial de tipo gota para abonar contenedores más grandes (>1 galón [4 L]) en la parte superficial, ya que se puede aplicar una dosis medida de fertilizante a la base de cada planta. Este método anula la posibilidad de que los gránulos de fertilizante se alojen en el follaje y lo quemem tan pronto como se riegue el cultivo.

Otra opción para aplicar los FLC es incorporarlos al sustrato (figura 12.11B, cuadro 12.6). Si los cultivadores mezclan el sustrato in situ, es posible incorporar los FLC, pero se debe tener especial cuidado para garantizar una distribución uniforme (figura 12.11C) y evitar que se dañe el recubrimiento de los gránulos. Si el recubrimiento se rompe, el fertilizante soluble se liberará inmediatamente y la sal causará serios daños. Los viveros pueden comprar sustratos con FLC que ya se hayan incorporado uniformemente usando equipos de mezcla comerciales especiales. El sustrato comprado debe manipularse con cuidado y no debe almacenarse por periodos prolongados, ya que una buena parte de los nutrientes podrían liberarse como resultado del rompimiento de los gránulos o de altas temperaturas.

Cuadro 12.6—Recomendaciones del fabricante para la aplicación del fertilizante de liberación controlada 15-9-12 Osmocote® Plus. Adaptado de Everris Company (2012).

Temperatura		Duración (meses)	
°F	°C		
60	15	4 a 5	
70	21	3 a 4	
80	26	2 a 3	
90	32	1 a 2	
Unidades	Tasas de incorporación		
	Baja	Media	Alta
lbs por yd ³	3.0	8.0	12.0
kg por m ³	1.8	4.7	7.1
g por L	1.8	4.7	7.1
Abonado superficial (gramos por contenedor)			
Volumen del contenedor	Bajo	Medio	Alto
1 qt (946 cm ³)	2	4	6
1 gal (4,546 cm ³)	6	17	26
5 gal (22,730 cm ³)	26	70	105

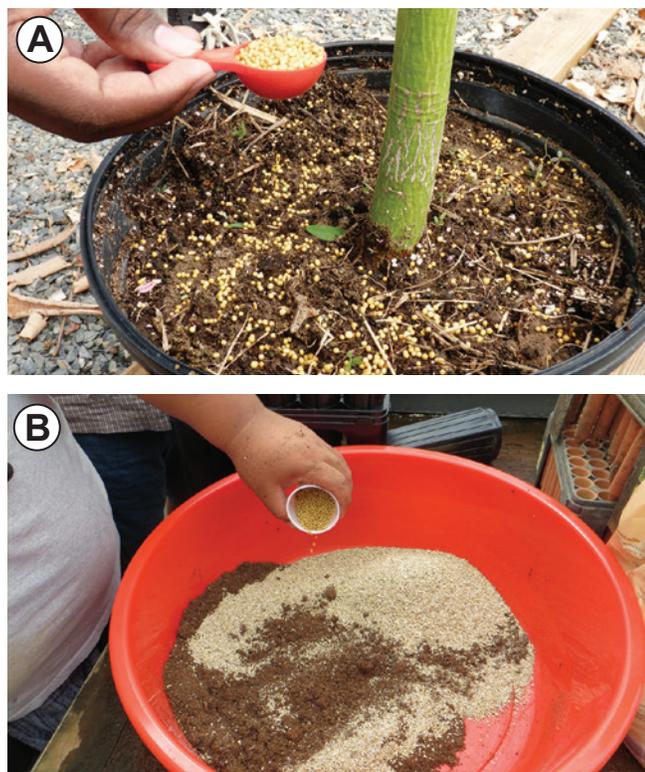


Figura 12.11—Los fertilizantes de liberación controlada pueden aplicarse directamente a contenedores (abonado superficial o “top dressing”) si se tiene cuidado de lograr una aplicación uniforme (A). La incorporación de fertilizantes de liberación controlada cuando se mezcla el sustrato (B) ayuda a lograr una distribución uniforme de los gránulos en contenedores pequeños (C). Foto A de Brian F. Daley, foto B de Diane L. Haase y foto C de Tara Luna.

Los cultivadores pueden seguir las recomendaciones generales proporcionadas por los fabricantes si clasifican sus cultivos por usos relativos de los nutrientes: bajo, medio o alto (cuadro 12.6). Naturalmente, estas tasas de aplicación deben utilizarse de forma conservadora hasta que puedan evaluarse sus efectos sobre el crecimiento y rendimiento de cada planta. Dado que la liberación de nutrientes de los FLC se ve tan afectada por la temperatura, los cultivadores deben ser cautelosos al seguir las recomendaciones de la etiqueta de los FLC. Los fabricantes basan sus velocidades de liberación en una temperatura promedio de aproximadamente 70 °C (21 °C) y las velocidades de liberación aumentan en alrededor de 25% por cada 9 °F (5 °C) de incremento en la temperatura (cuadro 12.6). Al igual que con todas las prácticas de viveros, los cultivadores deberían siempre llevar a cabo ensayos a pequeña escala antes de adoptar cualquier nuevo tratamiento con fertilizantes.

Aplicación de Fertilizantes Orgánicos

Podría incorporarse compost a los sustratos, pero deben estar totalmente maduras para evitar la quema de fertilizantes. Uno de los retos a la hora de utilizar fertilizantes orgánicos líquidos es cómo alcanzar los altos niveles de nitrógeno soluble necesarios para lograr rápidas tasas de crecimiento. Los cultivos de viveros de alta calidad pueden crecer con fertilizantes orgánicos; sin embargo, como sus valores de nutrientes son relativamente bajos (figura 12.7B), podría ser necesario ajustar los programas de producción.

Determinación de Cuándo Fertilizar

Dado que los sustratos artificiales, como los de turba-vermiculita, son infértiles por naturaleza, la fertilización debe comenzar apenas se establezcan las plántulas o los esquejes. Sin embargo, algunas marcas de sustrato con-

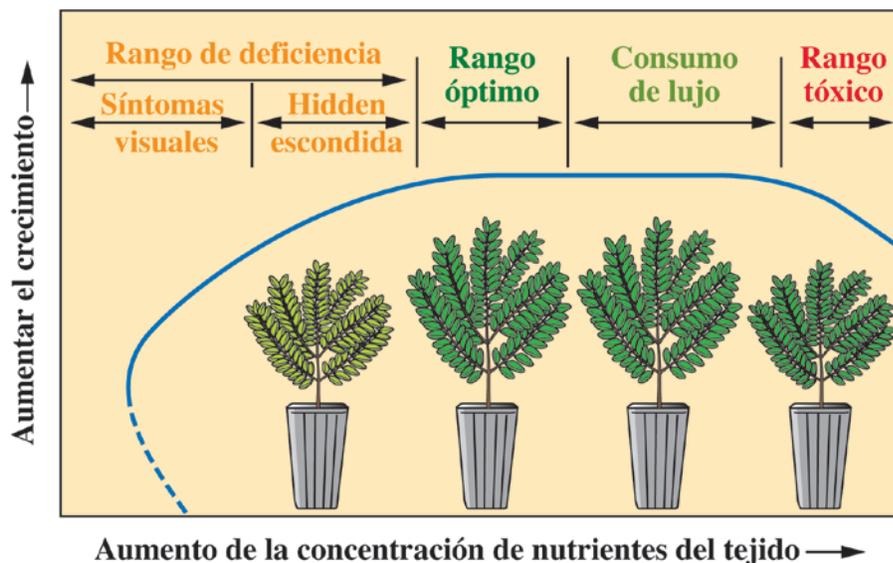
tienen una dosis inicial de fertilizante, por lo que debe asegurarse de verificar la etiqueta. Las mezclas caseras de suelo que hayan sido enriquecidas con composta u otros fertilizantes orgánicos podrían no requerir fertilización inmediata; no obstante, ello, observe el crecimiento de las plantas y realice pequeñas pruebas para estar seguro.

En los viveros, las tasas de crecimiento de las plantas pueden controlarse con niveles de fertilización, especialmente nitrógeno. A medida que las plantas absorben más nutrientes, su tasa de crecimiento aumenta rápidamente hasta llegar al punto crítico. Después de este punto, la adición de más fertilizantes no aumenta el crecimiento de las plantas, pero ello se puede hacer para “cargar” nutrientes adicionales al stock del vivero para su después del trasplante. Sin embargo, más allá de determinado punto, la fertilización excesiva puede reducir el crecimiento de las plantas y, con el tiempo, causar toxicidad (figura 12.12).

Algunas especies de plantas tropicales necesitan muy poco fertilizante, mientras que otras necesitan que se les dé un “empujón” con nitrógeno para lograr buenas tasas de crecimiento y cumplir con las especificaciones objetivo. Las especies con semillas pequeñas gastan sus nutrientes almacenados poco después de la germinación, mientras que las que tienen semillas grandes contienen mayores reservas de nutrientes y no necesitan fertilización inmediata. Una fertilización excesiva al principio de la temporada de crecimiento puede ser perjudicial para las leguminosas y otras especies nativas, que deben establecer bacterias fijadoras de nitrógeno u hongos micorrícicos en sus sistemas radiculares antes del trasplante. Ganar experiencia en el cultivo de una especie en particular es la mejor medida que se puede tomar para desarrollar prescripciones de fertilización específicas para cada especie.

Los cultivadores de plantas nativas tropicales nunca deben esperar a que sus cultivos muestren síntomas de deficiencia para

Figura 12.12—La fertilización es una de las formas más efectivas de aumentar el crecimiento de las plantas, que sigue un patrón característico. A medida que el contenido de nutrientes en el tejido vegetal aumenta, el crecimiento también aumenta y los síntomas de deficiencia se reducen; sin embargo, la fertilización más allá del rango óptimo no siempre es conveniente. Ilustración de Jim Marin.



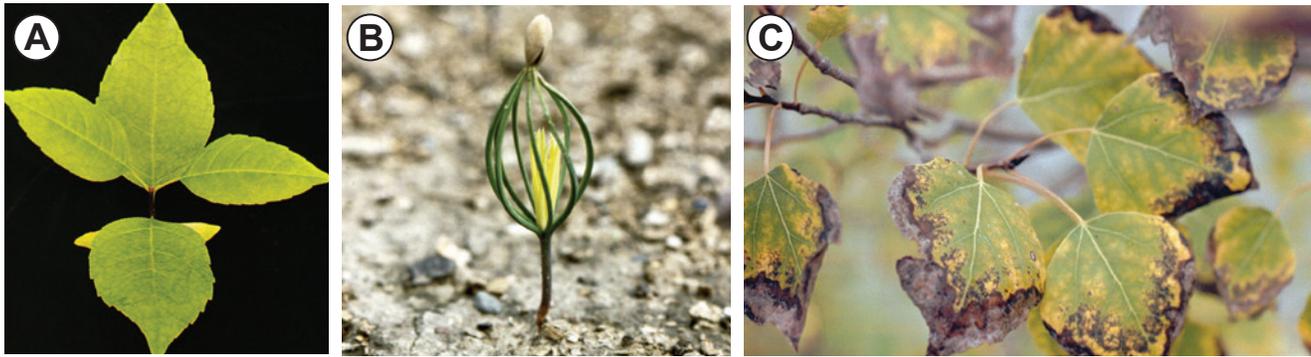


Figura 12.13—Los síntomas de deficiencia de nutrientes como la clorosis (amarillamiento) son comunes, pero pueden ser causados por distintos nutrientes. La clorosis por nitrógeno se observa primero en el follaje más viejo (A), mientras que la clorosis por hierro se produce en las agujas u hojas más jóvenes (B). La fertilización excesiva puede provocar síntomas de toxicidad, tal como la necrosis a lo largo del borde de las hojas causada por la toxicidad del boro (C). Foto A de Erdmann y otros (1979) y fotos B y C de Thomas D. Landis.

fertilizarlas. La tasa de crecimiento de las plantas se reducirá antes de que aparezcan síntomas visibles. Incluso después de la fertilización, pueden pasar semanas antes de que el crecimiento se reanude después de una condición de deficiencia. Evaluar los síntomas de deficiencias de nutrientes sobre la base de las características foliares puede ser una tarea difícil incluso para los expertos, debido a que distintas deficiencias de nutrientes tienen síntomas característicos similares, los cuales pueden variar significativamente de una especie a otra. Además, los síntomas foliares típicos, como la clorosis, podrían responder a causas distintas al estrés de nutrientes, como daños por calor o enfermedad de las raíces. La posición del follaje sintomático puede ser en cierto modo diagnóstica. Por ejemplo, el nitrógeno es muy móvil dentro de la planta y se desplazará al follaje joven cuando el nitrógeno sea limitante. Por lo tanto, las plantas con deficiencia de nitrógeno presentan una coloración amarillenta en las hojas más viejas y no en las más jóvenes (figura 12.13A). Por el contrario, el hierro es muy poco móvil en las plantas, por lo que los síntomas de deficiencia aparecen primero en el follaje más joven y no en el más viejo (figura 12.13B). Tenga presente que la fertilización excesiva puede causar síntomas de toxicidad (figura 12.13C). Por ello, el mensaje final es: Los síntomas foliares pueden ser un indicador de problemas relacionados con nutrientes (u otros problemas), pero nunca deben tomarse como la única guía para la fertilización. El monitoreo y la prueba de los cultivos, la experiencia y el conocimiento de las fases de crecimiento son las mejores guías para determinar las frecuencias y tasas de fertilización.

Fertilización Durante las Fases de Crecimiento de las Plantas

Los cultivadores necesitan conocer las distintas necesidades de nutrientes que tienen las plantas durante cada fase de crecimiento y ajustar las prescripciones de fertilizantes de acuerdo con ello (cuadro 12.7). Estos ajustes son particularmente importantes para el nitrógeno (especialmente, el nitrógeno en forma de amoníaco), el cual tiende

a ser uno de los principales impulsores del crecimiento y desarrollo de las plantas (figura 12.14).

Fase de Arraigo

La fertilización debe comenzar tan pronto como las plantas hayan emergido y se hayan arraigado. Sin embargo, las plantas pequeñas son muy succulentas y especialmente vulnerables a los daños que las altas concentraciones de sal causan a las raíces. Por otro lado, se ha demostrado que los altos niveles de nitrógeno aumentan el riesgo de aparición de hongos de marchitamiento y otros problemas de plagas. Por lo tanto, recomendamos fertilizar con niveles de nitrógeno bajos a moderados (25 a 75 ppm) durante este periodo.

Fase de Crecimiento Rápido

Esta es la fase durante la cual los brotes de las plantas alcanzan la mayor parte de su desarrollo y los altos niveles de nitrógeno (de 100 a 150 ppm) tienden a acelerar este crecimiento. Además del nitrógeno, los fertilizantes deben contener niveles adecuados de todos los demás nutrientes minerales. Sin embargo, los cultivadores deben monitorear de cerca el crecimiento y desarrollo de las plantas durante la fase de crecimiento rápido para asegurar que los brotes no se vuelvan excesivamente grandes o pesados.

Fase de endurecimiento

Cuadro 12.7—Ejemplos de regímenes de fertilización ajustados para las fases de crecimiento de las plantas.

Fase de crecimiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Arraigo	Medio	Alto	Bajo
Crecimiento rápido	Alto	Medio	Medio
Endurecimiento	Bajo	Bajo	Alto

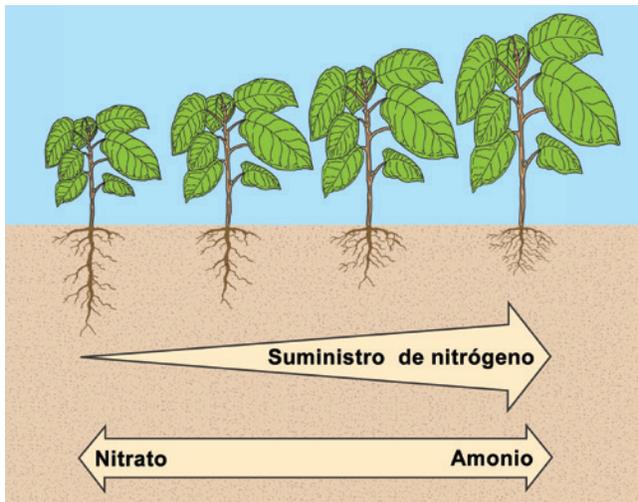


Figura 12.14—Dado que el nitrógeno es tan importante para la fisiología de las plántulas, se pueden usar fertilizantes nitrogenados para controlar la relación brote-raíz. También se utilizan para aumentar o disminuir la velocidad de crecimiento de las plantas. Se recomiendan los fertilizantes que contienen nitrógeno en forma de nitrato durante la fase de endurecimiento para reducir la velocidad de crecimiento de los brotes mientras se estimulan las raíces; se recomienda el nitrógeno amoniacal durante el crecimiento rápido. Ilustración adaptada de Dumroese y otros (2008).

El objetivo de la fase de endurecimiento es preparar a las plantas para el estrés del transporte y el trasplante, desacelerando el crecimiento de los brotes y promoviendo al mismo tiempo el crecimiento de los tallos y las raíces. Consultar el Capítulo 15, Endurecimiento, para una descripción completa de este tema. Los altos niveles de nitrógeno estimulan el crecimiento de las plantas; por ende, reducir la cantidad de nitrógeno (de 25 a 50 ppm) las ayuda a iniciar su endurecimiento. Por lo general, una menor proporción de nitrógeno frente al fósforo y potasio es útil (cuadro 12.7). Además, cambiar a fertilizantes que contienen nitrógeno en forma de nitrato (en contraposición al amoníaco) es útil porque ese nitrógeno no promueve el crecimiento de los brotes. El nitrato de calcio es un fertilizante ideal para el endurecimiento porque proporciona la única forma soluble de calcio, que tiene el beneficio añadido de ayudar a promover el desarrollo de paredes celulares fuertes. Es importante distinguir entre el nitrato de calcio granulado y el nitrato de amonio cálcico líquido, el cual sí contiene amonio. Una buena regla general para muchas plantas tropicales es que el endurecimiento debe comenzar cuando los brotes han alcanzado entre el 75% y el 80% del tamaño objetivo. Las plantas tardan algunas semanas en reaccionar a este cambio en la fertilización y seguirán creciendo después de que se haya reducido la fertilización con nitrógeno. La lixiviación del sustrato con varios riegos de agua corriente es una buena manera de asegurarse de que todo el exceso de nitrógeno sea eliminado del sustrato.

Monitoreo y Prueba

Recomendamos monitorear la conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fertilizantes y realizar análisis químicos del follaje de las plantas para determinar si la fertilización es suficiente, evitar que surjan problemas y diagnosticar cualquier deficiencia o toxicidad en caso de producirse.

Prueba de CE

Dado que todos los fertilizantes se absorben en forma de iones cargados eléctricamente, la capacidad de una solución de agua para conducir la electricidad es un indicador de la cantidad de fertilizante presente. Los cultivadores que realizan fertirrigación necesitan verificar periódicamente la CE del agua de fertirrigación aplicada y de la solución del sustrato. La medición de la CE del agua de fertirrigación mientras se aplica al cultivo puede confirmar si la solución fertilizante se ha calculado correctamente y si el inyector está funcionando.

Los sencillos medidores de CE manuales (figura 12.15) son bastante económicos y resultan muy útiles para monitorear la fertirrigación. La lectura de la CE indica la cantidad total de sales fertilizantes y sales naturales presentes en la fuente de agua. Las lecturas normales en la fertirrigación controlada debe oscilar entre 0.75 y 2.0 uS/cm. La medición de la CE del agua lixiviada de los contenedores también puede ayudar a detectar problemas de lixiviación inadecuada y de acumulación de sales en el sustrato. Sin embargo, la medición de la CE de la solución en el sustrato proporciona la mejor estimación de la cantidad de fertilizante disponible para las raíces de las plantas. El rango típico de valores de CE aceptables en el sustrato para la mayoría de las especies de plantas tropicales es de aproximadamente 1.2 a 2.5 uS/cm. Si la CE es superior a 2.5, es conveniente lixiviar

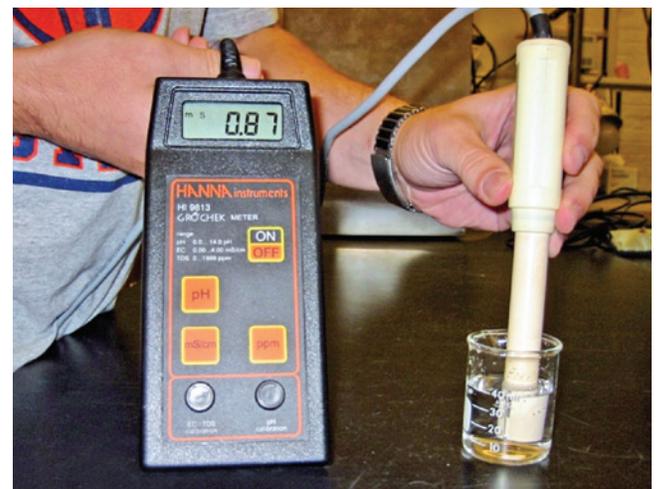


Figura 12.15—Medidor de conductividad eléctrica usado para estimar las concentraciones de sales fertilizantes en el agua de riego, agua de fertirrigación o extracto de medios saturados. Foto de Douglass F. Jacobs.

las sales con agua de riego limpia. Consultar el Capítulo 11, Calidad del Agua y Riego, para mayor información sobre las mediciones, pautas y unidades de CE.

Pruebas Foliare

La mejor manera de monitorear la nutrición de las plantas y las respuestas a la fertilización es probar el follaje de las plantas para obtener una medida exacta de los nutrientes que la planta ha adquirido. Al examinar las concentraciones de nutrientes en los tejidos y monitorear simultáneamente el crecimiento de las plantas, es posible identificar si hay una deficiencia o un exceso/toxicidad de nutrientes específicos (figura 12.12). Existe poca información publicada sobre los niveles ideales de nutrientes minerales en las plantas de viveros tropicales, por lo que le recomendamos realizar pequeñas pruebas para elaborar directrices aplicables a su propia especie. Las muestras foliares deben recogerse de forma sistemática y enviarse a un laboratorio de reconocido prestigio para su procesamiento (puede haber recomendaciones disponibles a través de los agentes locales de extensión). Los valores de concentración de nutrientes analizados se comparan luego con algún conjunto conocido de valores de nutrientes adecuados para determinar de qué elementos específicos hay deficiencia (cuadro 12.8). El costo de analizar estas muestras es relativamente bajo si se tiene en cuenta la mejora potencial de la calidad de los cultivos que se puede obtener al contar con datos para guiar los regímenes de fertilización.

Cuadro 12.8—Rangos estimados de niveles de nutrientes foliares para plantas tropicales sanas (basados en datos compilados por Drechsel y Zech [1991] sobre especies de árboles tropicales de hoja ancha cultivados en el campo). Los rangos de nutrientes pueden variar significativamente de una especie a otra. Se recomienda realizar pruebas en viveros a fin de determinar los mejores rangos para especies específicas.

Nutriente	Rango de niveles foliares en plantas sanas
Macronutrientes	(%)
Nitrógeno	1.5 a 3.5
Fósforo	0.10 a 0.25
Potasio	0.60 a 1.8
Calcio	0.50 a 2.5
Magnesio	0.15 a 0.50
Azufre	0.10 a 0.30
Micronutrientes	ppm (partes por millón)
Hierro	50 a 250
Manganeso	35 a 250
Zinc	10 a 40
Cobre	5 a 20
Boro	15 a 50
Moibdeno	0.10 a 1.0

Pruebas de Crecimiento

Llevar a cabo pequeñas pruebas de crecimiento es otra buena forma de monitorear la nutrición de las plantas y sus necesidades de fertilización. Estas pruebas son especialmente informativas para las especies de plantas tropicales, ya que existe muy poca información publicada al respecto. La documentación detallada de las condiciones de crecimiento, los insumos de los fertilizantes y la respuesta resultante de las plantas puede ayudar a elaborar futuras prescripciones de fertilizantes para una especie específica en un vivero. Consultar el Capítulo 20, Descubrir Formas para Mejorar las Prácticas del Vivero y la Calidad de las Plantas, para mayor información sobre cómo realizar estos descubrimientos mediante ensayos y experimentos.

Reducción de los Efectos Ambientales de la Fertilización

Regardless of the method of fertilizer application or the type of fertilizer used, runoff of excess fertilizers is a major environmental concern. Nutrient ions, notably nitrate and phosphate, leach easily from container nurseries, and can pollute groundwater or adjacent streams. Many areas have laws and regulations limiting runoff and groundwater nitrate levels. Growers need to choose types of fertilizers and schedule their applications to minimize potential pollution concerns. Because nitrate and phosphate are so soluble in water, growers need to irrigate only when necessary and apply only enough water so that only small amounts drain out the bottom of the containers. This approach also makes sense from an economic standpoint, because the desire is to have most of the applied fertilizer taken up by crop plants rather than lost in runoff.

Reducing, eliminating, and managing environmental effects of fertilization in the nursery include these practices—

1. Apply fertilizer as part of a designed nutrient and irrigation program. The goal is never to push plants as quickly as possible through all phases of growth; instead, crops should be cultured to produce balanced, healthy plants for the best results after outplanting.
2. Consider using slow-release and controlled-release fertilizers in addition to, or instead of, highly soluble liquid fertilizers.
3. Select organic fertilizers that have less leaching potential.
4. Explore options to recycle or reuse irrigation water, including subirrigation systems or catchment ponds where runoff can be collected, treated, and reused.
5. Learn about water conservation and responsible management and reuse of runoff water, as discussed in Chapter 11, Water Quality and Irrigation.

Una combinación de estos pasos, según sea apropiado para su vivero, le ayudará a minimizar la lixiviación de nutrientes y a reducir los efectos de la fertilización en el medioambiente.

Referencias

Diver, S.; Greer, L.; Adam, K.L. 2008. Sustainable small-scale nursery production. Butte, MT: National Center for Appropriate Technology (NCAT) Sustainable Agriculture Project. <https://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/summary.php?pub=60>. (November 2011).

Drechsel, P.; Zech, W. 1991. Foliar nutrient levels of broad-leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and Soil*. 131: 29–46.

Dumroese, R.K.; Luna, T.; Landis, T.D. 2008. Nursery manual for native plants: volume 1, a guide for tribal nurseries. *Agriculture Handbook 730*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 302 p.

Everris Company. 2012. Coated fertilizers. The Netherlands: Everris International, B.V. <http://everris.us.com/plant-nutrition/coated-fertilizers>. (March 2012).

Landis, T.D.; Dumroese, R.K. 2011. Using organic fertilizers in forest and native plant nurseries. *Forest Nursery Notes*. 31(2): 9–18.

Morgenson, G. 1994. Using municipal organic wastes at Lincoln-Oakes nurseries. In: Landis, T.D., comp. proceedings of the north-eastern and intermountain forest and conservation nursery association meeting. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 65–67.

Lecturas Adicionales

Amaranthus, M.A. 2011. What are mycorrhizae? Grants Pass, OR: Mycorrhizal Applications Inc. <http://www.mycorrhizae.com/>. (14 May 2011).

California Plant Health Association. 2002. *Western fertilizer handbook*. 9th ed. Danville, IL: Interstate Publishers. 356 p.

Card, A.; Whiting, D.; Wilson, C.; Reeder, J. 2009. Organic fertilizers. Fort Collins, CO: Colorado State University Extension, Colorado Master Gardener Program. CMG Garden Notes #234. 8 p. <http://www.cmg.colostate.edu>. (May 2011).

Chaney, D.E.; Drinkwater, L.E.; Pettygrove, G.C. 1992. Organic soil amendments and fertilizers. Pub. No. 21505. Oakland, CA: University of California, Agriculture and Natural Resources. 35 p.

Claassen, V.P.; Carey, J.L. 2007. Comparison of slow-release nitrogen yield from organic soil amendments and chemical fertilizers and implications for regeneration of disturbed sites. *Land Degradation & Development*. 18: 119–132.

Gaskell, M.; Smith, R. 2007. Nitrogen sources for organic vegetable crops. *HortTechnology*. 17: 431–441.

Hartz, T.K.; Smith, R.; Gaskell, M. 2010. Nitrogen availability from liquid organic fertilizers. *HortTechnology*. 20: 169–172.

Landis, T.D. 2011. Understanding and applying the carbon-to-nitrogen ratio in nurseries. *Forest Nursery Notes*. 31(1): 10–15.

Landis, T.D.; Campbell, S.; Zensen, F. 1992. Agricultural pollution of surface water and groundwater in forest nurseries. In: Landis, T.D., tech. coord. Proceedings, Intermountain Forest Nursery Association, 1991. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-211. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. 1–15.

Landis, T.D.; Khadduri, N. 2008. Composting applications in forest and conservation nurseries. *Forest Nursery Notes*. 28(2): 9–18.

Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. 1989. The container tree nursery manual: volume 4, seedling nutrition and irrigation. *Agriculture Handbook 674*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service. 119 p.

Meister Media. 2011. The Haber-Bosch Process. Washington, DC: Meister Media Worldwide. <http://www.fertilizer101.org/>. (8 November 2011).

Moral, R.; Paredes, C.; Bustamante, M.A.; Marhuenda-Egea, F.; Bernal, M.P. 2009. Utilisation of manure composts by high-value crops: safety and environmental challenges. *Bioresource Technology*. 100: 5454–5460.

The Scotts Company. 2006. Scotts fertilizer tech sheet. http://www.scottsprohort.com/products/fertilizers/osmocote_plus.cfm. (January 2006).

Rose, R.; Haase, D.L.; Boyer, D. 1995. Organic matter management in forest nurseries: theory and practice. Corvallis, OR: Oregon State University, Nursery Technology Cooperative. 65 p.

Roy, R.N.; Finck, A.; Blair, G.J.; Tandon, H.L.S. 2006. Plant nutrition for food security: a guide for integrated nutrient management. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 366 p. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0443e/a0443e.pdf>. (April 2011).

Sharpley, A.N.; Chapra, S.C.; Wedepohl, R.; Sims, J.T.; Daniels, T.C.; Reddy, K.R. 1994. Managing agricultural phosphorus for the protection of surface waters: issues and options. *Journal of Environmental Quality*. 23: 437–451.

Vaario, L.; Tervonen, A.; Haukioja, K.; Haukioja, M.; Pennanen, T.; Timonen, S. 2009. The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*. 39: 64–75.

Wikipedia. 2011a. Guano. <http://en.wikipedia.org/wiki/Guano>. (April 2011).

Wikipedia. 2011b. Sodium nitrate. http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_nitrate. (April 2011).