

Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas¹

Alejandra Sierra, Tatiana Sanchez-Jones, Eric Simonne y Danielle Treadwell²

Introducción

Las plantas necesitan oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂), agua, nutrientes, luz y tiempo para crecer. Por lo tanto, es importante considerar factores como el manejo de nutrientes y riego. El manejo de nutrientes es la implementación de prácticas que permitan obtener un rendimiento óptimo de cultivo y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental (aire y agua). El propósito del manejo de nutrientes incluye la disminución del transporte de nutrientes hacia las fuentes de agua; planificando y supliendo la cantidad necesaria de nutrientes para obtener un óptimo rendimiento y calidad en las plantas; y promoviendo prácticas de manejo que mantengan las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo. El objetivo de esta publicación es proporcionar principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de hortalizas.

I. Principios para el manejo de nutrientes

Principio 1. Las plantas necesitan todos los nutrientes esenciales

Las plantas necesitan 16 elementos para un desarrollo vegetativo y reproductivo normal. Estos elementos son esenciales porque: 1) las plantas no pueden completar

su ciclo de vida sin ellos, 2) los síntomas de deficiencia aparecen cuando el elemento no está presente y desaparecen con la aplicación del mismo, y 3) cada elemento tiene por lo menos un rol metabólico en la planta (Arnon y Scout 1939).

Los elementos esenciales pueden ser agrupados en 3 categorías, macronutrientes no minerales, macronutrientes minerales y micronutrientes (Tablas 1 y 2). Los macronutrientes son aquellos elementos que las plantas necesitan en cantidades relativamente grandes (1% a 6% del peso seco; 1% = 1 g / 100 g de peso seco). Los micronutrientes, aunque requeridos en menores cantidades (1 a 200 ppm; 1ppm = 1 mg / kg de peso seco) son igualmente importantes que los macronutrientes. Los elementos no minerales (carbono [C], hidrógeno [H] y oxígeno [O]) provienen del agua y el aire, mientras que muchos de los elementos minerales, son obtenidos por las plantas mediante la absorción de nutrientes en la solución del suelo.

Principio 2. Ley del mínimo de Liebig

El elemento esencial proveído en menores cantidades (factor limitante) determina el éxito del programa de fertilización. Es decir, si un elemento se encuentra deficiente, el crecimiento y rendimiento del cultivo no será el óptimo, y para poder incrementar la productividad

1. Este documento, HS1102, es uno de una serie de publicaciones del Departamento de Ciencias Hortícolas, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida (UF/IFAS Extension). Fecha de primera publicación: julio 2007. Revisado junio 2017, octubre 2020 y octubre 2024. Visite nuestro sitio web EDIS en <https://edis.ifas.ufl.edu>.

2. Alejandra Sierra, exalumna graduada, Departamento de Ciencias Hortícolas, Tatiana Sanchez, agente de Extensión de UF/IFAS del condado de Alachua, Eric Simonne, profesor distinguido, Departamento de Ciencias Hortícolas, Danielle Treadwell, profesor asociado; Departamento de Ciencias Hortícolas; UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611.

(expresada en crecimiento o rendimiento) es necesario suplir el elemento deficiente. La ley del mínimo de Liebig compara el rendimiento y/o crecimiento de un cultivo con un barril (Figura 1), donde cada segmento representa un elemento esencial. El segmento más corto limita la capacidad del barril (en el caso de la Figura 1, es el potasio). Aun cuando los demás elementos se encuentren en cantidades suficientes, el barril se llenará solo hasta el segmento más corto. Por este motivo es importante proveer a la planta con todos los elementos esenciales en las cantidades necesarias.

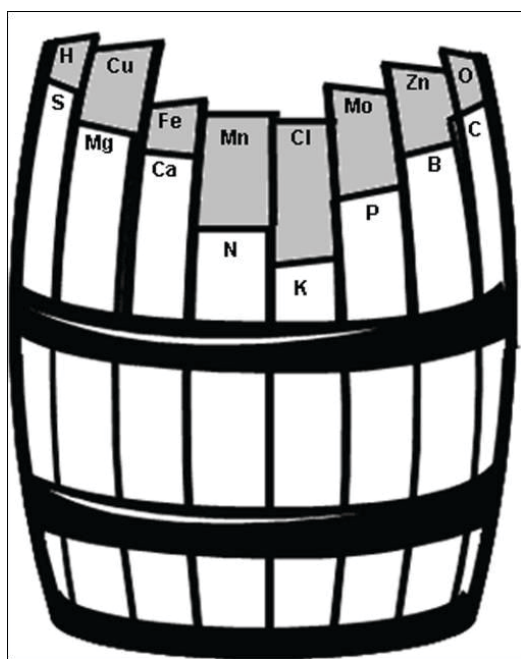


Figura 1. Ley del mínimo de Liebig.

Principio 3. La aplicación de fertilizante basada en el análisis de suelo y el requerimiento de nutrientes

El requerimiento de nutrientes del cultivo (RNC) para un elemento en particular se define como la cantidad total en lb/A o kg/ha de ese elemento que necesita el cultivo para obtener un óptimo rendimiento económico (Tablas 3, 4 y 5). Es decir, aplicaciones mayores al RNC no incrementarán el rendimiento económico. El concepto de óptimo rendimiento económico es importante en la producción de hortalizas debido a que cierta cantidad de nutrientes podrían generar una cantidad moderada de biomasa, pero reducir la cantidad de producto comercializable. El RNC para cada cultivo está determinado por experimentos de campo que han evaluado el efecto de diferentes niveles de fertilizante en el rendimiento del cultivo.

El RNC puede proveerse a través de diferentes fuentes, incluyendo el suelo, agua, aire, materia orgánica o la aplicación de fertilizante. La aplicación de fertilizante

debe hacerse únicamente cuando la recomendación del análisis de suelo indique que el elemento no se encuentra en cantidades suficientes en el suelo. Por lo tanto, el análisis de suelo debería realizarse para determinar la cantidad del RNC que es suplido por el suelo.

El análisis de suelo es un método químico para estimar la capacidad del suelo de aportar nutrientes. El análisis mide únicamente la cantidad de nutrientes que potencialmente estarán disponibles para la planta, y representa únicamente un diagnóstico del suelo. Este análisis no mide la cantidad exacta de nutrientes que serán utilizados por la planta. Para ese propósito se han elaborado recomendaciones basadas entre la disponibilidad de nutrientes y la respuesta de los cultivos a la fertilización (Figura 2).

Diversos métodos de extracción han sido desarrollados para su uso en el análisis de suelos. Cada uno de estos métodos está compuesto de diferentes químicos, por lo que los resultados obtenidos varían entre ellos. Por esta razón, cada método de extracción está diseñado para ser utilizado en suelos con características particulares (Tabla 6). El uso de métodos de extracción fuera de su rango de aplicación generará resultados erróneos. Al momento de seleccionar un laboratorio para el análisis de muestras, es importante seleccionar uno que se ubique en la misma región de la recolección, ya que éstos siguen procedimientos específicos para cada tipo de suelo de la región.

Principio 4. Las plantas obtienen los nutrientes disueltos en agua. La fertilización solo es buena si la irrigación es adecuada

El agua juega un rol central en el manejo de nutrientes, ya que actúa como solvente y es la encargada del movimiento de nutrientes en la zona radicular y debajo de ella. Por esta razón, los programas de irrigación y fertilización están estrechamente relacionados. El manejo óptimo de un programa requiere el manejo apropiado del otro. El nitrógeno (N) y el potasio (K) tienen un alto potencial de lixiviación, especialmente en suelos arenosos, por lo tanto, la sobre irrigación puede ocasionar el movimiento de estos elementos fuera de la zona radicular. Esto a su vez, como en el caso del N, puede resultar en la contaminación de aguas subterráneas. El objetivo del manejo de agua es mantener el agua de riego en la zona radicular donde la planta la pueda aprovechar. Por esta razón, los productores deben tener conocimiento de la zona radicular de cada cultivo en particular; para que tanto el agua como el fertilizante, sean manejados de tal manera que puedan mantenerse en la zona radicular durante todo el cultivo.

Nivel de análisis de suelo	Fuentes relativas de nutrientes a diferentes niveles de análisis de suelo	Nivel de suficiencia	Recomendación	Probabilidad de respuesta a la aplicación de fertilizante
Bastante alto	Suelo →	100%	Rendimiento no incrementará con la aplicación de fertilizante. El suelo puede suplir más de lo que el cultivo necesita. Fertilizante no debe ser aplicado para evitar problemas nutricionales y contaminación ambiental.	0% Bastante bajo
Alto	Suelo → Fert. →	100%	Rendimiento no incrementará con la aplicación de fertilizante. El suelo puede suplir lo que el cultivo necesita. No es necesario aplicar fertilizante.	0% Bajo
Medio	Suelo → Fertilizante →	75 a 100%	Se espera que se obtenga 75 a 100% del rendimiento potencial del cultivo sin la aplicación adicional de fertilizante. Se espera tener respuesta a la aplicación de fertilizante. Una pequeña porción de los requerimientos debe ser suplida con fertilizantes.	25 a 30% Medio
Bajo	Suelo → Fertilizante →	50 a 75%	Se espera que se obtenga 50 a 75% del rendimiento potencial del cultivo sin la aplicación adicional de fertilizante. Se espera tener respuesta a la aplicación de fertilizante. Una porción de los requerimientos debe ser suplida con fertilizantes.	25 a 50% Alto
Bastante bajo	Suelo → Fertilizante →	< 50%	Se espera que se obtenga < 50% del rendimiento potencial del cultivo sin la aplicación adicional de fertilizante. Se espera tener respuesta a la aplicación de fertilizante. Una gran porción de los requerimientos debe ser suplida con fertilizantes.	> 50% Bastante alto

Figura 2. Recomendaciones basadas en los niveles de análisis de suelo.
Fuente: adaptado de Havlin et al. (1999)

La calendarización de irrigación es utilizada para aplicar la cantidad apropiada de agua para satisfacer las necesidades en cada etapa del cultivo. Las características de los sistemas de irrigación, necesidades del cultivo, características del suelo y condiciones climáticas deben ser consideradas para una calendarización apropiada de riego. La subaplicación de agua y el momento inadecuado de su aplicación, puede ocasionar estrés en el cultivo y disminuir su rendimiento debido a la inapropiada disponibilidad de agua y/o nutrientes. La sobre irrigación incrementa la pérdida de nutrientes por lixiviación y puede reducir el rendimiento y la calidad del fruto.

Una amplia variedad de métodos de calendarización e irrigación son utilizados, cada uno con su nivel correspondiente de manejo de agua (Tabla 7). El método recomendado para la calendarización de irrigación para diferentes tipos de riego se describe en la Tabla 8.

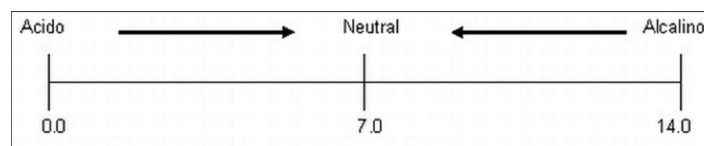
Avances en la tecnología de sensores de humedad del suelo, han facilitado la adopción de esta herramienta como una

alternativa viable a la calendarización de irrigación. El uso de sensores de humedad del suelo permite ajustes en el volumen y frecuencia de riego en tiempo real.

Principio 5. La disponibilidad de nutrientes depende del pH del suelo

El pH del suelo mide la concentración del hidrógeno (H^+) en el suelo, lo cual a su vez define la acidez o alcalinidad de los suelos.

$$pH = -\log [H^+] = \log 1/[H^+]$$



Ecuación 1.

Los suelos extremadamente ácidos tienen $pH < 4.5$, los suelos neutros tienen un pH de 6.6-7.4 y los suelos altamente alcalinos tienen un $pH > 8.5$. Generalmente en suelos ácidos hay mayor número de iones de H^+ mientras

que en suelos alcalinos hay un mayor número de iones de OH^- , por lo tanto, se espera que en suelos neutros haya un equilibrio entre H^+ y OH^- .

El pH ejerce un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes como resultado de su impacto en la solubilidad de diferentes compuestos. Muchos elementos cambian de forma como resultado de las reacciones químicas que ocurren en el suelo, y las plantas pueden o no absorber los elementos dependiendo de la forma en que se encuentren. La mayoría de los nutrientes generalmente está disponible de manera adecuada a un valor neutro de pH 7 (Figura 3).

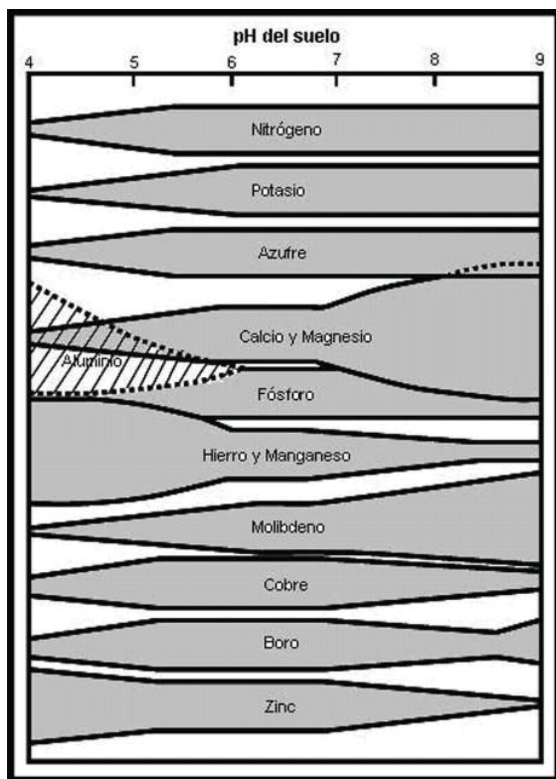


Figura 3. Relación entre pH del suelo y disponibilidad de nutrientes para la planta. Para cada elemento, entre más ancha la banda, más disponibilidad del elemento.

Fuente: adaptado de Brady y Weil (1999)

Cada cultivo tiene diferentes rangos de tolerancia a la acidez (Tabla 9). Cuando el pH del suelo sea menor al rango de tolerancia, es necesario incrementar el pH del suelo mediante el proceso denominado “encalado”. Durante este proceso los iones de H^+ son neutralizados ya sea por OH^- o HCO_3^- , los cuales están presentes en los materiales que contienen carbonato de calcio (Tabla 10). Para determinar la cantidad de cal que se necesita aplicar para aumentar el pH al rango óptimo de cultivo, es necesario realizar un análisis de pH buffer, el cual mide la concentración de H^+ en la solución del suelo y los sitios intercambiables. Este análisis es diferente del pH del suelo ya que el pH mide únicamente la concentración de H^+ en la solución del suelo.

Tanto los fertilizantes (Tabla 11), como el agua de riego (si esta proviene de acuíferos de piedra caliza), pueden incrementar o disminuir el pH del suelo respectivamente, por lo cual es necesario tomar en cuenta su efecto sobre el pH del suelo. Para maximizar la eficiencia de los sistemas de producción, el análisis de suelo y de agua de riego deben ser parte integral de cualquier programa de manejo de fertilización.

II. Prácticas para el manejo de nutrientes: sincronizar liberación con requerimientos

El principio de un buen manejo de nutrientes y el uso de fertilizantes es asegurar una sincronización entre los requerimientos del cultivo y la liberación de nutrientes provenientes de fertilizantes o de materiales orgánicos; de tal manera que se reduzca el riesgo de transporte de nutrientes a aguas superficiales o subterráneas. La aplicación de fertilizante debe realizarse únicamente cuando el suelo o la materia orgánica sean insuficientes para suplir los requerimientos del cultivo. La aplicación de fertilizantes que exceda el requerimiento del cultivo o la aplicación no apropiada de fertilizante ocasionará una pérdida económica que puede incrementar el riesgo de contaminación de las aguas.

Práctica 1. ¿Cuánto aplicar?

Como se describió anteriormente en los principios, la cantidad de fertilizante a aplicar debe estar basada en el RNC y en el análisis de suelo. Después de tener esta información es importante saber calcular las cantidades que se necesitan aplicar basadas en las recomendaciones. Las Tablas 12–14 son ejemplos de cómo calcular la cantidad de fertilizante granular, fertilizante líquido con separación de camas estándar y no estándar.

Práctica 2. ¿Cómo aplicar?

El método y tiempo de aplicación de fertilizante depende del sistema de siembra utilizado (con plástico o sin plástico), sistema de riego (inundación, aspersión o goteo), el cultivo y la conveniencia para el productor. Al momento de determinar qué método de aplicación utilizar, es importante considerar el uso eficiente de nutrientes desde la emergencia a madurez, ya que **la aplicación de fertilizante no garantiza la disponibilidad de nutrientes**.

Existen diversos métodos de aplicación (Figura 4), los cuales se describen a continuación:

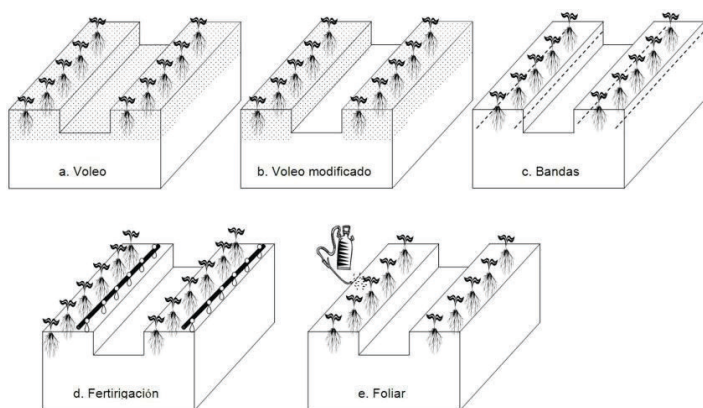


Figura 4. Métodos de aplicación de fertilizante para vegetales: a) Voleo (aplicación de fertilizante sobre toda la superficie del terreno), b) Voleo modificado (aplicación de fertilizante únicamente sobre el área utilizada (cama) por el cultivo), c) En bandas (aplicación de fertilizante en bandas delgadas a lo largo de la cama entre 2 a 3 pulgadas de profundidad), d) Fertigación (aplicación de fertilizante a través del sistema de riego), y e) Foliar (aplicación de nutrientes a las hojas de la planta, recomendadas únicamente para la aplicación de micronutrientes).

VOLEO

Aplicación sobre toda la superficie del terreno (Figura 4a). Usualmente los fertilizantes que se aplican al voleo son incorporados en el suelo o se dejan sobre la superficie donde son transportados a la zona radicular mediante la infiltración de agua de lluvia o riego. La aplicación al voleo sobre todo el terreno, provee una apropiada distribución de los nutrientes. Este método de aplicación se recomienda para cultivos extensivos como maíz, frijol y sorgo.

VOLEO MODIFICADO

La tasa de aplicación de fertilizante para voleo y voleo modificado es la misma con la excepción que la colocación en voleo modificado es únicamente en la cama (Figura 4b). Para cultivos hortícolas, el método de aplicación al voleo modificado es más eficiente ya que la aplicación se realiza únicamente en el área (cama) utilizada por el cultivo, de esta manera los surcos no son fertilizados.

EN BANDAS

El método de aplicación en bandas consiste en aplicar el fertilizante en bandas delgadas a lo largo de la cama (Figura 4c). Cuando el fertilizante es aplicado en bandas, es ideal no colocarlo debajo de la semilla o transplante pues puede ocasionar daño por sales. Las bandas deben ser colocadas a los lados del transplante o semilla entre 2 a 3 pulgadas de profundidad. El número de bandas dependerá del cultivo y del número de hileras por cama.

FERTIGACIÓN

Fertigación es la aplicación de nutrientes a través del sistema de riego (Figura 4d). La fertigación debe realizarse

de una manera calendarizada. Las cantidades aplicadas deben ser determinadas por el crecimiento del cultivo y la demanda de nutrientes en cada etapa fisiológica del cultivo. La frecuencia depende en su mayoría del manejo del riego. Las aplicaciones pueden realizarse diaria o semanalmente. En suelos donde hay menor posibilidad de pérdidas por lixiviación, las aplicaciones pueden hacerse semanalmente.

FOLIAR

La fertilización foliar es la aplicación de nutrientes a las hojas de la planta (Figura 4e). Este método de aplicación debe ser el último recurso para corregir una deficiencia. Las aplicaciones foliares son recomendadas únicamente para la aplicación de micronutrientes, siempre y cuando la deficiencia haya sido diagnosticada. En suelos alcalinos todos los micronutrientes pueden ser aplicados foliarmente.

Práctica 3. ¿Cuándo aplicar?

Para sistemas de cultivo sin plástico, se recomienda que 20% a 50% del N y del K, y el 100% del fósforo (P) y los micronutrientes sean aplicados presiembra. Si se utiliza riego por inundación o aspersión, la aplicación de N y K no debe ser mayor de 25% utilizando el método de voleo modificado. El restante debe ser aplicado en bandas en dos o tres aplicaciones.

Cuando se utiliza plasticultura el tiempo de aplicación depende del tipo de riego (inundación o goteo). Cuando se utiliza riego por inundación se incorpora en la cama el 100% del P y los micronutrientes, y de 10% hasta 20% del N y K utilizando voleo modificado. El N y K restante debe ser aplicado en bandas delgadas en los bordes de la cama. Este método de aplicación requiere que el suelo permanezca húmedo para permitir la disolución del fertilizante y el movimiento de nutrientes hacia la zona radicular.

Para fertigación con riego por goteo, el 100% del P y los micronutrientes, y de 20% a 40% del N y K se aplican presiembra. En el caso de que se aplique N y K presiembra la fertigación se puede iniciar dos o tres semanas después de la siembra. Usualmente las cantidades aplicadas inician con 0,5 a 1,0 lb de N o K por acre por día, luego incrementan de 2 a 2,5 lb por acre por día (Figura 5).

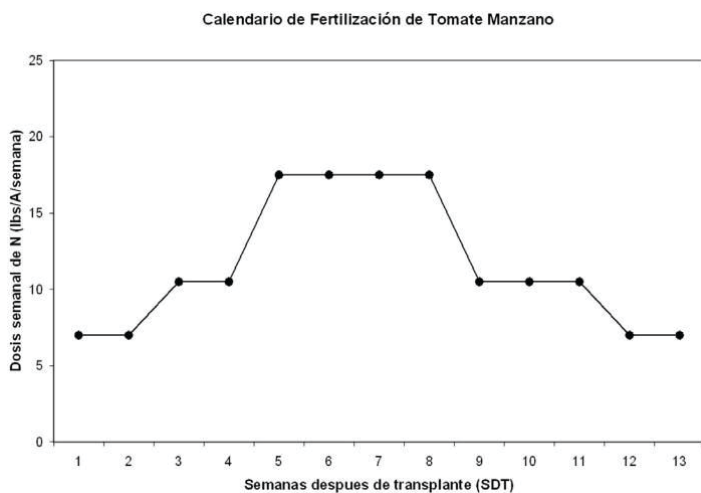


Figura 5. Dosis semanal de aplicación de N (lb/A/semana) durante el cultivo de tomate manzano.

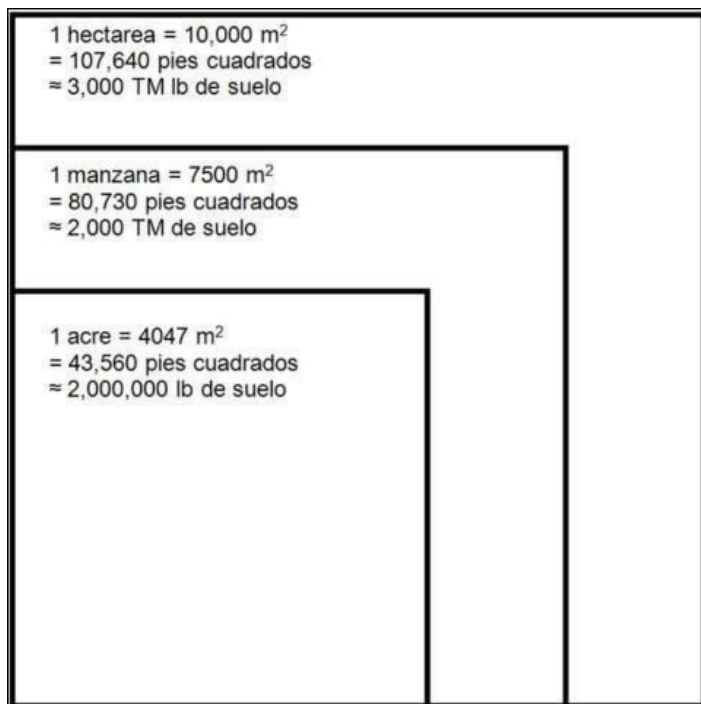


Figura 6. Conversiones de superficie.

Referencias

Arnon, D. I., y P. R. Scout. 1939. "The Essentiality of Certain Elements in Minute Quantity for Plants with Special Reference to Copper." *Plant Physiology* 14:371–375.

Barker, A. V., y D. J. Pilbeam. 2007. *Handbook of Plant Nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Brady, N. C., y R. R. Weil. 1999. *The Nature and Properties of Soils*, 12th ed. Saddle River, NJ: Prentice-Hall Inc.

Dittmar, P. J., S. Agehara, y N. Dufault. 2023. *Vegetable Production Handbook of Florida, 2023–2024*. Gainesville, FL: AgNetMedia.

Hanlon, E. A. 2001. "Procedures Used by State Soil Testing Laboratories in the Southern Region of the United States." *Southern Cooperative Series Bulletin*. SCSB # 190-C.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, y W. L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*, 6th ed. Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Hochmuth, G. J., y E. A. Hanlon. 2000. *UF/IFAS Standardized Nutrient Recommendations for Vegetable Crop Production in Florida*. CIR1152. Gainesville: University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences. <https://edis.ifas.ufl.edu/cv002>

Jones, J. B. 1990. "Universal Soil Extractants: Their Composition and Use." *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 21 (13–16): 1091–1101.

Maynard, D. N., y G. J. Hochmuth. 1997. *Knotts Handbook for Vegetable Growers*, 4th ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.

Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press Limited.

Mills, H. A., y J. B. Jones. 1996. *Plant Analysis Handbook II*. Athens, GA: Micromacro Publishing.

Tabla 1. Macronutrientes esenciales, sus funciones, síntomas de deficiencia, incidencia y cultivos susceptibles.²

Nutriente	Funciones en la planta	Síntomas de deficiencia	Incidencia típica	Cultivos susceptibles
Nitrógeno (N) Elemento de rendimiento y crecimiento.	Componente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y algunas coenzimas. Promueve crecimiento rápido, ayuda a incrementar la tolerancia al estrés y resistencia de enfermedades.	Es un elemento móvil en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Si la deficiencia continúa las hojas inferiores mueren. Tallo delgado, erecto y endurecido. Hojas pequeñas, amarillentas; puede aparecer un color rojizo en los márgenes o en la parte inferior de las hojas.	En suelos arenosos especialmente después de fuertes lluvias o exceso de riego. También en suelos orgánicos durante temporadas frías cuando la mineralización es baja.	Todos
Fósforo (P) Elemento de energía y raíces.	Componente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP (transferencia de energía). Estimula el crecimiento de la raíz, promueve el vigor en la planta, acelera la maduración, influye en la floración y formación de semillas.	Es un elemento móvil en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Las hojas desarrollan un color púrpura; tallos delgados y cortos. Achaparramiento de plantas.	En suelos ácidos o altamente alcalinos. También puede ocurrir en suelos húmedos y fríos.	Todos
Potasio (K) Elemento de calidad y química.	Turgencia de la célula, apertura y cierre de estomas, activador enzimático. Control indirecto de fotosíntesis, y acumulación y translocación de carbohidratos. Imparte vigor, ayuda a incrementar la resistencia a enfermedades, la calidad de la fruta.	Es un elemento móvil en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Hojas viejas desarrollan áreas grises en los bordes y puntas de la hoja. Se reduce la floración, fructificación y desarrollo de la planta. Reduce la resistencia de la planta a enfermedades, a la sequía y el frío.	En suelos arenosos después de fuertes lluvias o sobre irrigación.	Todos
Calcio (Ca) Elemento de la pared celular.	Componente cementante de las paredes celulares. Participa en la permeabilidad de la membrana y elongación celular. Ayuda en el crecimiento de vellos radiculares, mejora el vigor de la planta y da consistencia al tallo.	Es un elemento no móvil en la planta por lo que afecta puntos de crecimiento (raíz y brotes).	En suelos altamente ácidos o durante sequías, ya que el Ca es absorbido por el flujo transpiracional.	Deficiencias específicas incluyen: pudrición de la base del fruto en tomate, chile y sandía; “corazón podrido” en remolacha; y tallo hendido en apio.
Magnesio (Mg) Elemento de fotosíntesis.	Activador de enzimas que participan en la fotosíntesis, respiración y síntesis de ADN y ARN.	Es un elemento móvil en la planta por lo que inicialmente las hojas viejas presentan un color amarillento entre las venas, seguido de amarillamiento de hojas jóvenes. Las hojas viejas terminan cayéndose.	En suelos altamente ácidos o suelos arenosos lixiviados. Una de las causas más frecuentes de deficiencia es el exceso de potasio en el suelo.	Remolacha, papa, uvas, cítricos, frutos, cultivos de invernaderos.

Nutriente	Funciones en la planta	Síntomas de deficiencia	Incidencia típica	Cultivos susceptibles
Azufre (S) Elemento del sabor.	Componente de algunos aminoácidos, compuestos de sabor. Fijación de nitrógeno en leguminosas y ayuda en la producción de semillas.	Es un elemento no móvil en la planta. Clorosis general de hojas jóvenes y reducción de crecimiento.	En suelos bastante arenosos, bajo contenido de materia orgánica, especialmente después del uso de fertilizantes que no contienen S y especialmente en áreas que reciben poco azufre atmosférico.	Maíz, soya, papa, cacao, cítricos, tabaco y cebolla, ajo y chive.

^z Adaptado de Barker y Pilbeam (2007); Marschner (1995) y Mills y Jones (1996)

Tabla 2. Micronutrientes esenciales, sus funciones, síntomas de deficiencia, incidencia y cultivos susceptibles.^z

Nutriente	Funciones en la planta	Síntomas de deficiencia	Incidencia típica	Cultivos susceptibles
Boro (B)	Síntesis de aminoácidos y proteínas. Desarrollo y crecimiento de nuevas células en el meristemo de la planta. Formación de nódulos en leguminosas.	Es un elemento no móvil en la planta. Muerte de brotes en crecimiento, hojas distorsionadas y alteración de frutos.	En suelos con pH > 6.8 o en suelos arenosos, suelos lixiviados o en cultivos con alta demanda de boro como las coles.	Alfalfa, manzana, brócoli, coliflor, zanahoria, apio, café, uvas, maní, remolacha, girasol y nabo.
Molibdeno (Mo)	Componente de enzimas (nitrato reductasa y nitrogenasa) que participan en el metabolismo de nitrógeno.	Es un elemento con movilidad limitada en la planta. Hojas delgadas, deformes (enrolladas) y pálidas con clorosis en las venas de las hojas viejas.	En suelos muy ácidos, pero muy raro.	Alfalfa, frijol, brócoli, coliflor, lechuga, chícharos, soya y espinaca.
Cobre (Cu) ^y	Asociado con enzimas que participan en reacciones de reducción y oxidación (transferencia de electrones).	Es un elemento no móvil en la planta. Clorosis en hojas jóvenes. Achaparramiento.	Suelos orgánicos y en ocasiones en suelos jóvenes.	Alfalfa, cebada, zanahoria, cítricos, lechuga, avena, cebolla, arroz, espinaca, remolacha, tabaco y trigo.
Hierro (Fe)	Asociado con enzimas que participan en reacciones de reducción y oxidación (transferencia de electrones) en los procesos de respiración y fotosíntesis.	Es un elemento no móvil en la planta. Color distintivo, amarillo o blanco, entre las venas de las hojas jóvenes.	En suelos con pH > 6.8	Cítricos, frijol, maní, menta, ornamentales, sorgo, soya, frutales y hortalizas.
Zinc (Zn) ^y	Componente necesario para la producción de clorofila y fotosíntesis. Involucrado en la síntesis de ácido indol acético.	Es un elemento con movilidad limitada en la planta por lo que los síntomas se desarrollan primero en las hojas más viejas. Manchas rojizas pequeñas en las hojas cotiledóneas en frijol; “yema blanca” en maíz.	En suelos húmedos y fríos o con exceso de fósforo.	Manzano, frijol, cítricos, café, maíz, melocotón, pera, arroz, sorgo y soya.
Manganeso (Mn) ^y	Producción de oxígeno, proveniente del agua, en el proceso de fotosíntesis. Acelera la germinación y madurez del cultivo.	Es un elemento no móvil en la planta. Manchas amarillas (moteadas) entre las venas de las hojas más jóvenes.	En suelos con pH > 6.4	Manzano, cebada, frijol, uvas, lechuga, avena, guisante, melocotón, papa, rábano, soya, sorgo, espinaca, fresa, remolacha y trigo.
Cloro (Cl) ^y	Necesario para la “partición” de la molécula de agua, para generar oxígeno, para el proceso de fotosíntesis.	Deficiencias son raras.	Usualmente solo en condiciones de laboratorio.	

^z Adaptado de Barker y Pilbeam (2007); Marschner (1995) y Mills y Jones (1996).

^y Normalmente suplidos por otros fertilizantes (Cl) o fungicidas (Cu, Mn, Zn).

Tabla 3. Recomendaciones de fertilizante basadas en resultados de análisis de suelo en suelos minerales de Florida.^{z,y}

Cultivo	pH meta	Espacio entre camas ^x (ft) ^t	No. de hileras por cama	N ^w	P ₂ O ₅					K ₂ O				
					BB ^v	B	M	A	BA	BB	B	M	A	BA
					lb/A por temporada del cultivo ^{u,t}									
Apio	6.5	4	2	200	200	150	100	0 ^t	0	250	150	100	0	0
Ayote	6.5	6	2	150	120	100	80	0 ^s	0	120	100	80	0	0
Berenjena	6.5	6	1	200	160	130	100	0	0	160	130	100	0	0
Brócoli/ Coliflor	6.5	6	2	175	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Calabaza	6.5	8	1	150	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Cebolla	6.5	6	4	150	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Cebollina	6.5	6	4	120	120	100	100	0	0	120	100	100	0	0
Chile	6.5	6	2	200	150	120	100	0	0	200	150	100	0	0
Espinaca	6.5	6	4-6	90	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Fresa	6.5	4	2	175	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Lechuga de cabeza	6.5	4	2	200	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Lechuga de hoja	6.5	4	2	150	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Lechuga Escarola/ Romana	6.5	4	2-3	200	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Okra	6.5	6	2	120	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Pepino	6.5	6	2	150	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Perejil	6.5	6	4-6	120	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Rábano	6.5	6	4-6	90	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Repollo	6.5	6	2	175	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Sandía	6.0	8	1	150	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Tomate	6.5	6	1	200	150	120	100	0	0	150	1125	100	0	0
Zanahoria	6.5	4	2-3	175	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0

^z Estas tasas son recomendadas únicamente para Florida en suelos arenosos y ácidos (pH < 7.3) basadas en extracción con Mehlich 3. Para suelos con alto pH y concentraciones altas de calcio, un análisis de laboratorio que utilice una extracción de Mehlich 3 proporcionará una mejor precisión al analizar el fósforo disponible en el suelo. Para obtener más información sobre la comparación de los análisis de suelo Mehlich 1 y Mehlich 3, consulte <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/CV002> y <https://edis.ifas.ufl.edu/ss620>.

^y Adaptado de Dittmar, Agehara, y Dufault (2023) y Hochmuth y Hanlon (2000).

^x Espacio del centro de una cama al centro de otra cama.

^w Las recomendaciones de N para los suelos arenosos de Florida no están basadas en los resultados de extracción de Mehlich 1. En suelos de Florida, el K extraíble a partir de las pruebas Mehlich 1 y Mehlich 3 es similar.

^v BB = bastante bajo, B = bajo, M = medio, A = alto, BA = bastante alto.

^u A es el área en pies lineales de la cama (PLC); PLC = Área de un acre (43,560 pies cuadrados) / Distancia entre camas.

^t Para convertir lb/A a kg/ha se multiplica por 1,12; 1 ft = 1 pie = 30,5 cm

^s Transplantes y semillas pueden beneficiarse con la aplicación de una solución arrancadora a una dosis no mayor a 10 a 15 lb/acre de N y P, aplicado cerca del transplante o semilla.

Tabla 4. Recomendaciones de fertilizante basados en resultados de análisis de suelo en suelos minerales de Florida.^{z,y}

Cultivo	pH meta	Espacio entre hileras (pulgadas) ^u	N ^x	P ₂ O ₅					K ₂ O				
				BB ^w	B	M	A	BA	BB	B	M	A	BA
			lb/A por temporada del cultivo ^{v,u}										
Camote	6.5	36-42"	60	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Habichuela	6.5	18-36"	100	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0
Maíz dulce	6.5	28-32"	200	150	120	100	0	0	150	120	100	0	0
Papa	6	40-42"	200	120	120	100	0	0	150	150	--	--	--
Remolacha	6.5	12-30"	120	120	100	80	0	0	120	100	80	0	0

^z Estas tasas son recomendadas únicamente para Florida en suelos arenosos y ácidos (pH < 7.3) basadas en extracción con Mehlich 3. Para suelos con alto pH y concentraciones altas de calcio, un análisis de laboratorio que utilice una extracción de Mehlich 3 proporcionará una mejor precisión al analizar el fósforo disponible en el suelo. Para obtener más información sobre la comparación de los análisis de suelo Mehlich 1 y Mehlich 3, consulte <https://edis.ifas.ufl.edu/ss620>.

^y Adaptado de Dittmar, Agehara, y Dufault (2023).

^x Las recomendaciones de N para los suelos arenosos de Florida no están basadas en los resultados de extracción de Mehlich 1. En suelos de Florida, el K extraíble a partir de las pruebas Mehlich 1 y Mehlich 3 es similar.

^w BB = bastante bajo, B = bajo, M = medio, A = alto, BA = bastante alto.

^v A es el área en pies lineales de hilera (PLH); PLC = Área de un acre (43,560 pies cuadrados) / Distancia entre hileras. Las recomendaciones son las mismas independientemente de la distancia entre hileras que se utilice.

^u Para convertir lb/A a kg/ha se multiplica por 1,12; 1 pulgada = 2,54 cm

^t Transplantes y semillas pueden beneficiarse con la aplicación de una solución arrancadora a una dosis no mayor a 10 a 15 lb/acre de N y P, aplicado cerca del transplante o semilla.

Tabla 5. Interpretaciones de Mehlich 3 para la producción de hortalizas en Florida y Mehlich 1 para lugares distintos a la Florida.

Elemento	Bastante Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bastante Alto
	Partes por millón				
Mehlich 3 en Florida ^z					
P		=25	26–45	>45	
K		=35	36–60	>60	
Mg		=20	21–40	>40	
Mehlich 1					
P	<10	10–15	16–30	31–60	>60
K	<20	20–35	36–60	61–125	>125
Mg ^y	<10	10–20	21–40	41–60	>60
Ca ^x	<100	100–200	201–300	301–400	>400

^z La interpretación de Florida de Mehlich 3 no incluye los índices "Bastante Bajo" o "Bastante Alto".

^y Cuando el resultado es medio o bajo se puede necesitar hasta 40 lb/acre.

^x Niveles adecuados de Ca cuando > 300 ppm. El índice de Ca no se informa para los productores que usan Mehlich 3 porque los suelos de Florida son naturalmente ricos en calcio. A excepción del cultivo de maní, el calcio rara vez se necesita como suplemento para la fertilidad.

Tabla 6. Métodos de extracción utilizados en diferentes tipos de suelos.^z

Método de extracción	Elementos	Suelo	pH
Mehlich 1	P, K, Ca, Mg, Cu, Mn y Zn	Ácidos de textura arenosa con capacidad de intercambio catiónico de 10cmol/100g.	<6.5
Mehlich 3	P, K, Ca, Mg, Na y micronutrientes	Ácidos a levemente alcalinos, textura fina	<6.0 a 7.2
Olsen	P	Levemente ácidos a alcalinos	6.0 a >7.2
Bray 1	P	Levemente ácidos a levemente alcalinos	6.0 a 7.2
Lancaster	P, K, Ca, Mg	Neutro a alcalino, textura fina	>7.0
AB-DDTA	P	Alcalinos, calcáreos	>7.4
AB-ETPA	P, K, Na, Fe, Mn, Zn, As, Cd, NO ₃	Alcalinos, no calcáreos	>7.5
Morgan	P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, NO ₃ , NH ₄ , SO ₄ , Al, As, Hg, Pb	Ácidos y medios artificiales con baja capacidad de intercambio catiónico <20 meq/100g.	
Morgan-Wolf	P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn, NO ₃ , NH ₄	Ácidos a neutrales y orgánicos	

^z Adaptado de Jones (1990) y Hanlon (2001).

Tabla 7. Niveles de manejo de nutrientes y riego, y prácticas correspondientes para la producción de hortalizas^z.

Nivel de manejo	Manejo de nutrientes ^z	Manejo de irrigación ^y
0—Ninguno	Adivinando el requerimiento de fertilizante.	Adivinando las tasas de riego.
1—Bastante bajo	Análisis de suelo pero todavía adivinando.	Utilizando métodos empíricos, “ver y tocar”.
2—Bajo	Análisis de suelo e implementación de “una” recomendación.	Utilizando irrigación sistemática, por ejemplo ejemplo: 2 h al día desde el transplante a la cosecha.
3—Intermedio	Análisis de suelo e implementación adecuada de las recomendaciones.	Uso de herramientas de medición de humedad para determinar aplicación de riego.
4—Avanzado	Análisis de suelo, implementación adecuada de las recomendaciones y monitoreo del estatus nutricional del cultivo	Uso de herramientas para medir la humedad para calendarización de riego y la aplicación de cantidades basados en presupuesto de agua.
5—Recomendado	Análisis de suelo, implementación adecuada de las recomendaciones, monitoreo del estatus nutricional del cultivo y manejo de nutrientes.	Uso conjunto de estimación de uso de agua en las diferentes etapas de cultivo, herramientas para la medición de humedad del suelo y guías para la repartición del riego.

^z Para mayor eficiencia, la fertilización e irrigación deben estar al mismo nivel.

^y No todos los sistemas de irrigación son apropiados para niveles de manejo altos de fertilización e irrigación.

Tabla 8. Resumen de guías para calendarizar el riego.

Componente de calendarización de riego	Tipo de sistema de irrigación ^z		Aspersión
	Inundación ^y	Goteo ^x	
1. Tasa de aplicación de agua deseada.	Mantener la tabla de agua entre 18 a 24".	Datos históricos de clima o evapotranspiración del cultivo (ETc).	Datos históricos de clima o evapotranspiración del cultivo (ETc).
2. Afinación de la aplicación utilizando mediciones de humedad.	Monitoreo de la profundidad de la tabla de agua mediante pozos de observación.	Mantener la tensión del agua del suelo en la zona radicular entre 8 a 15cbar para suelos arenosos y entre 8 a 25cbar en suelos francos.	Mantener la tensión del agua del suelo en la zona radicular entre 8 a 15cbar para suelos arenosos y entre 8 a 25cbar en suelos francos.
Determinar la contribución de la lluvia.	En suelos arenosos, usualmente, 1" de lluvia incrementa la tabla de agua 1'.	Poco movimiento lateral de agua en suelos arenosos y rocosos limita la contribución de la lluvia a las necesidades de agua del cultivo a (1) absorción foliar y enfriamiento del follaje; y (2) agua filtrada por el hoyo en el plástico.	En terrenos planos donde no hay erosión, la eficiencia de la lluvia es 100%.
4. Regla para fragmentación de riego.	No aplicable. Sin embargo, se puede desarrollar un cálculo de agua.	En riegos mayores a 12 y 50 gal/100ft (o 30 min y 2 horas para tasa de flujo medio) cuando las plantas están pequeñas y completamente desarrolladas, respectivamente, es probable que el frente de agua esté bajo la zona radicular.	La cantidad de agua aplicada debe permanecer en la zona radicular. ¾" cada 4 días en suelos arenosos o 1 ½" a la semana en suelos de textura fina, basado en el promedio de ETo.
5. Mantener registros.	Cantidad de riego aplicado y lluvia total recibida. Días de operación del sistema.	Cantidad de riego aplicado y lluvia total recibida. Calendario de riego diario.	Cantidad de riego aplicado y lluvia total recibida. Calendario de riego diario.

^z Un calendario de irrigación eficiente también requiere un diseño apropiado y mantenimiento del sistema.
^y Válido únicamente cuando existe una capa impermeable en el terreno.
^x En suelos arenosos y profundos.

Tabla 9. Guía general de tolerancia de cultivos a la acidez mineral del suelo.^z

Poco tolerante (pH 6.8 a 6.0)		Moderadamente tolerante (pH 6.8 a 5.5)		Bastante tolerante (pH 6.8 a 5.0)
Remolacha (<i>Beta vulgaris</i>) Brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>) Repollo (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>) Coliflor (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>) Apio (<i>Apium graveolens</i>)	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) Okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>) Cebolla (<i>Allium cepa</i>) Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i>) Puerro (<i>Allium ampeloprasum</i>)	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Habichuela (<i>Phaseolus vulgaris</i>) Zanahoria (<i>Daucus carota</i>) Maíz (<i>Zea mays</i>) Pepino (<i>Cucumis sativus</i>) Berenjena (<i>Solanum melongena</i>)	Mostaza (<i>Brassica juncea</i>) Chile (<i>Capsicum annum</i>) Rábano (<i>Raphanus sativus</i>) Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>) Calabaza (<i>Cucurbita maxima</i>) Ayote (<i>Cucurbita pepo</i>)	Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) Camote (<i>Ipomea batata</i>) Sandía (<i>Citrullus lanatus</i>)

^z Adaptado de Maynard y Hochmuth (1997).

Tabla 10. Materiales para encalado.^z

Material	Formula	Cantidad necesaria equivalente a 1 tonelada de Carbonato de Calcio ^z		Valor neutralizador ^y (%)
Cal agrícola o Carbonato de calcio	CaCO ₃	2000 lb ^x	910 kg	100
Cal dolomítica	CaCO ₃ , MgCO ₃	1850 lb	840 kg	109
Cal oxidada	CaO	1100 lb	500 kg	179
Cal hidratada	Ca(OH) ₂	1500 lb	682 kg	136
Silicato de calcio	CaSiO ₃	2350 lb	1068 kg	86
Carbonato de magnesio	MgCO ₃	1680 lb	764 kg	119

^z Adaptado de Dittmar, Agehara, y Dufault (2023).
^y 1 tonelada = 2000 lb = 910 kg
^x Entre más alto el valor neutralizador, mayor la cantidad de acidez que es neutralizada por unidad de peso de material.
^w Calculado: (2000 × 100)/ valor neutralizador (%).

Tabla 11. Efecto de algunos fertilizantes sobre el pH del suelo^z.

Fertilizante	Fórmula	Equivalente aproximado de carbonato de calcio (lb) ^y	Equivalente aproximado de carbonato de calcio (kg) ^y
Nitrato de amonio	NH ₄ NO ₃	-1200	-546
Sulfato de amonio	(NH ₄) ₂ SO ₄	-2200	-1000
Fosfato di-amónico	(NH ₄) ₂ HPO ₄	-1250 a -1550	-568 a -705
Cloruro de potasio	KCl	0	0
Nitrato sódico potásico	KNO ₃	+550	+250
Superfosfato simple		0	0
Nitrato de potasio	KCl	+520	+236
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	0	0
Sulfato de potasio y magnesio		0	0
Triple superfosfato		0	0
Úrea	O=C-(NH ₂) ₂	-1700	-773

^z Adaptado de Dittmar, Agehara, y Dufault (2023).
^y El signo negativo indica el número de libras o kilogramos de carbonato de calcio necesario para neutralizar la acidez producida cuando se aplica una tonelada de fertilizante al suelo.

Tabla 12. Cómo calcular la cantidad de fertilizante granular que se necesita aplicar al principio del cultivo.

Situación: un productor planea sembrar un acre de tomate. Tomando como base el análisis de suelo se recomienda aplicar presiembra 50 lb/acre de N, 100 lb/acre de P ₂ O ₅ ^z , 50 lb/acre de K ₂ O ^z ; utilizando úrea (46-0-0), fosfato di-amonio (18-46-0) y cloruro de potasio (0-0-60). ¿Qué cantidad de cada fertilizante se necesita aplicar?	
Necesidades	Fertilizantes
50 lb de N	46-0-0
100 lb de P ₂ O ₅	18-46-0
50 lb de K ₂ O	0-0-60
Para satisfacer la necesidad de P con 18-46-0: 100/0.46 = 218 lb de 18-46-0 218 x 0.18 = 39 lb de N en 218 lb de 18-46-0	
Para satisfacer la necesidad de N con 46-0-0: 50 lb – 39 lb (lb de N en 218 lb de 18-46-0) = 11 lb de N 11/0.46 = 24 lb de Urea	
Para satisfacer la necesidad de K con 0-0-60: 50/0.60 = 84 lb de 0-0-60	
^z Las recomendaciones del análisis de suelo son expresadas en lb/A de P ₂ O ₅ y K ₂ O.	

Tabla 13. Cómo calcular la cantidad de fertilizante líquido que se necesita aplicar con espacio entre camas estándar.

Situación: cultivo de tomate de 3 semanas. Basado en las recomendaciones el productor necesita aplicar 2 lb/A/día ^z de N y K ₂ O ^y utilizando fertilizante líquido 8-0-8. ¿Cuántos galones de fertilizante se necesitan aplicar por A/día?			
	Necesidades		Fertilizante
	2 lb de N		8-0-8
	2 lb de K ₂ O		
En un galón de 8-0-8 hay 0,8 lb de N ^x y 0,8 lb de K ₂ O			
Para satisfacer la necesidad de N y K con 8-0-8: 2/0,8 = 2,5 gal de 8-0-8			
^z A = PLC = 43560/distancia entre camas ^y Las recomendaciones del análisis de suelo son expresadas en lb/A de K ₂ O. ^x 1 galón 10 lb 8 lb de N en 100 lb o 8 lb de N en 10 gal			

Tabla 14. Cómo calcular la cantidad de fertilizante líquido que se necesita aplicar con espacio entre camas no estándar.

Situación: después de cosechar el tomate, el productor piensa utilizar las mismas camas para sembrar sandía. La distancia estándar entre camas de tomate es 6 pies mientras que para sandía es 8 pies, por lo tanto:	
1 A tomate = 43560/6 = 7260 PLC (PLC = Pies por línea de cama)	
1 A sandía = 43560/8 = 5445 PLC	
Es decir, 7260 – 5445 = 1815 PLC = 1/3 de A a 8 pies entre cama.	
En otras palabras, 1 A de tomate es equivalente a 1,33 A de sandía.	
Basado en las recomendaciones el productor necesita aplicar 2,5 lb/A/día de N y K ₂ O ^z utilizando fertilizante líquido 8-0-8. ¿Cuántos galones de fertilizante se necesitan aplicar por A/día?	
Necesidades	Fertilizante
2 lb de N	8-0-8
2 lb de K ₂ O	
En un galón de 8-0-8 hay 0.8 lb de N ^y y 0.8 lb de K ₂ O	
Para satisfacer la necesidad de N y K con 8-0-8: 2,5/0,8 = 3,2 gal de 8-0-8 para aplicar 5445 PLC	
Como en este caso, el productor no está utilizando el PLC estándar para sandía, entonces: 3,2 x 1,33 = 4,3 gal de 8-0-8 para un acre de sandía sembrada en camas de tomate.	
^z Las recomendaciones del análisis de suelo son expresadas en lb/A de K ₂ O. ^y 1 galón = 10 lb; hay 8 lb de N en 100 lb de fertilizante líquido o 8 lb de N en 10 gal de fertilizante líquido.	