

Capítulo VI

Nutrición, correctivos y fertilización de la lima ácida Tahití

Marlon José Yacomelo Hernández, Liliana Ríos-Rojas
y Javier Orlando Orduz-Rodríguez

El suelo es un cuerpo natural no renovable, que tiene una génesis, una morfología y unas propiedades físicas, químicas y bioorgánicas, que son producto de ciertos factores formadores (clima, material parental, organismos, relieve y tiempo). Su fertilidad es una cualidad que resulta de la interacción entre sus características físicas, químicas y biológicas, y que consiste en su capacidad de suministrar agua y nutrientes que son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Las plantas toman todos sus nutrientes del suelo, excepto el dióxido de carbono, que las hojas toman del aire. Un adecuado diagnóstico de la fertilidad natural del suelo contribuye al manejo integral de los nutrientes, pues, a través de indicadores, es posible conocer la reserva aprovechable de los elementos en el suelo y seleccionar las tecnologías de fertilización y fuentes de abono más apropiadas (Castro & Gómez, 2010).

Por lo anterior, es fundamental conocer los requerimientos nutricionales de las plantas, para obtener altos rendimientos, sostenibles en el tiempo y con una adecuada calidad de la fruta. Por lo general, el suelo no contiene la cantidad óptima ni el balance adecuado de todos los nutrientes, razón por la cual las plantas tienden a compensar esta deficiencia retardando su crecimiento, desarrollo y rendimientos.

En el presente capítulo se consideran los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para el manejo de los suelos donde se van a establecer los cultivos de lima ácida Tahití, además de las prácticas necesarias para evaluar la fertilidad de los suelos y realizar un diagnóstico nutricional oportuno, con el fin

de tomar las decisiones para el manejo de la fertilidad que aumenten los rendimientos y mejoren la calidad de la fruta.

Exigencias edáficas para el desarrollo del cultivo

Con un propósito comercial, la lima ácida Tahití se siembra en una amplia variedad de suelos, que van desde ligeramente ácidos a alcalinos, y de texturas arenosas a francas o franco-arcillosas. Esta especie necesita suelos con una profundidad efectiva de 2 m, y su cultivo se ve afectado por encharcamientos prolongados o por altos niveles del nivel freático.

En suelos con reacción ácida, se requiere que los niveles de saturación de bases ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K}$) estén alrededor del 70 %. Por debajo de este valor, se hace necesaria la aplicación de correctivos (cal agrícola y dolomita, escorias Thomas o yeso agrícola), para aumentar las concentraciones de las bases intercambiables (Malavolta, 1995).

Preparación del suelo para el establecimiento del cultivo

La preparación del suelo debe realizarse con base en sus propiedades físicas, para lo cual es necesario hacer una caracterización, con el fin de contar con un diagnóstico de su estado inicial. Los análisis físicos que se sugiere llevar a cabo antes de la preparación se refieren a la textura y la densidad aparente, que permitirán identificar los posibles problemas físicos del suelo, como compactación y pérdida de estructura, que limitan el buen desarrollo de las plantas.

El análisis físico brindará las bases para seleccionar el tipo de labranza requerida para preparar el suelo adecuadamente, garantizando que las raíces de las plantas encuentren las condiciones físicas óptimas (estructura y porcentaje de poros en el suelo adecuados, y buena infiltración) para el crecimiento radicular.

Es necesario realizar el análisis de densidad aparente cada 10 cm de profundidad, hasta llegar a los 100 cm. Esto permite identificar los niveles en los cuales el suelo presenta problemas de compactación, de profundidad efectiva o de restricciones para el desarrollo radical. Con base en la información anterior, se determina el tipo de labranza necesaria para el establecimiento apropiado del cultivo.

Dentro de esos tipos se encuentran la labranza mínima y la labranza cero. La primera consiste en realizar el menor número de labores en el suelo, pero garantizando buen drenaje e infiltración; la segunda se trata únicamente de preparar el sitio donde se establecerán las plantas.

Para llevar a cabo la labranza cero, es necesario realizar un hoyo de aproximadamente 40 cm de longitud $\times$ 40 cm de ancho $\times$ 50 cm de profundidad, incorporar en el fondo alrededor de 1 kg de abono orgánico + 200 g de fertilizante edáfico a base de fósforo, y aplicar una capa de suelo de 3 cm de espesor, con el fin de tapar el fertilizante y evitar su contacto directo con las plantas, ya que se puede ocasionar toxicidad.

En el caso de los otros tipos de labranza, se utiliza el mismo procedimiento que para la siembra en campo, con la diferencia de que el tamaño del hoyo se puede reducir en la longitud y el ancho (25 cm de longitud $\times$ 25 cm de ancho $\times$ 50 cm de profundidad). La utilización de estos otros tipos permitirá reducir al máximo el deterioro físico del suelo. En la tabla 3 se sugieren algunas clases de labranza que se pueden utilizar, dependiendo de las características físicas del suelo.

Tabla 1. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base en la textura del suelo

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Continuación tabla 3 Arenoso-franca (AF)	<1,60	1,69	>1,80
Franca (F) Franco-arenosa (FA)	<1,40	1,63	>1,80
Franco-arcillosa (FAr) Franco-arcillo-arenosa (FArA)	<1,40	1,6	>1,75
Franco-limosa (FL) Franco-arcillo-limosa (FArL)	<1,30	1,6	>1,75
Arcillo-arenosa (ArA) Arcillo-limosa (ArL) Algunas franco-arcillosas (35 %-45 % de arcilla)	<1,10	1,39	>1,58
Arcillosa (>45 % de arcilla)	<1,10	1,39	>1,47

Tipo de labranza sugerido por los autores, de acuerdo con el análisis de textura y la densidad aparente

	1. Labranza cero (preparación del sitio de siembra) 2. Labranza reducida (un pase de arado de cincel vibratorio y uno de rastrillo)	Labranza mínima (dos pases de arado de cincel vibratorio y dos de rastrillo)	Labranza primaria (dos o tres pases de arado de cincel rígido y dos de rastrillo)
--	--	--	---

Fuente: Elaboración propia a partir de una guía del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (1999)

Fertilidad de los suelos

La fertilidad del suelo es una cualidad que es resultado de la interacción entre sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y consiste en su capacidad de aportar agua y nutrientes esenciales a las plantas para completar su ciclo de vida. Los nutrientes son exclusivamente de naturaleza orgánica o mineral.

Las plantas requieren 17 nutrientes —carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B), cloro (Cl), molibdeno (Mo) y níquel (Ni)— para completar su ciclo de vida y alcanzar los rendimientos esperados. Entre el 90 % y el 95 % de la materia seca de la planta está constituida por C, H y O, obtenidos del CO_2 y el H_2O mediante fotosíntesis; mientras que del 5 % al 10 % está compuesta por los nutrientes minerales.

Herramientas de diagnóstico para el manejo de la fertilidad del suelo

En lo que se refiere a la fertilidad del suelo, se contemplan el uso y la adaptación de diversas herramientas de diagnóstico, cuya interpretación constituye la base técnica para orientar de forma integral la nutrición eficiente de cultivos.

El diagnóstico hace referencia a la identificación de características (atributos o limitantes) que influyen en la disponibilidad de nutrientes e interactúan con factores ambientales (clima), del suelo (físicos, químicos y biológicos), del cultivo (históricos, de producción, variedades, extracción nutricional, potencial genético, sistema radicular y fenología), y las prácticas de manejo de este último (Burbano & Silva, 2010). A continuación, se presentan algunas de esas herramientas.

Identificación de síntomas por deficiencia o exceso de nutrientes en las plantas

Estos síntomas permiten evaluar la disponibilidad de un nutriente en el suelo, aunque es importante tener en cuenta que la ausencia de síntomas de deficiencia de un nutriente en la planta no certifica que esté bien nutrida. Los nutrientes tienen una movilidad en las plantas y esto determina el sitio donde se manifiestan las deficiencias o la toxicidad.

En los nutrientes altamente móviles (N, P, K y Mg), los síntomas aparecen en las hojas más viejas, y en los de baja movilidad (Ca, Fe, Mn, Cu, Zn, B) se manifiestan en las hojas jóvenes. Por su parte, el S presenta una movilidad intermedia, y en este caso los síntomas se evidencian en las hojas del tercio medio de las plantas (Osorio, 2014). A continuación, se relacionan algunos síntomas característicos de carencia y toxicidad que se observan en las plantas.

Nitrógeno (N)

En términos generales, es el nutriente que las plantas requieren en mayores cantidades, aunque en algunos cultivos es superado por el potasio. En cítricos, la extracción que hace la fruta de K es cercana a la de N. Es un nutriente móvil en la planta, es decir, que esta lo transporta fácilmente hacia los sitios de nuevo crecimiento (hojas nuevas) y, en consecuencia, los síntomas de deficiencia se pueden observar en las hojas más viejas.

Las deficiencias de nitrógeno en las plantas se manifiestan inicialmente por la presencia de una clorosis generalizada en las hojas viejas, que luego se extiende a toda la planta, causando un retraso en el crecimiento y el porte pequeño de las plantas (figura 28).



Foto: Marlon Yacomelo

Figura 1. Síntomas de deficiencia de nitrógeno. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hoja con deficiencia, que muestra clorosis generalizada (pérdida de color y amarillamiento).

Fósforo (P)

Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un elemento móvil en la planta. Por lo general, su deficiencia está marcada por la coloración púrpura de las hojas, algunas veces en la zona intervenal, y cuando es severa los síntomas se trasladan a toda la planta. En ese caso ocasiona el porte pequeño de las plantas, la disminución de la cantidad de flores, entrenudos cortos y una reducción significativa de los rendimientos (figura 29).



Figura 2. Hojas que se tornan de color púrpura por la deficiencia de fósforo.

Fuente: Tomada de Legaz & Primo (s. f.)

Potasio (K)

Es un nutriente altamente móvil en la planta, y los síntomas de su deficiencia se caracterizan por la presencia de clorosis y un rápido necrosamiento de los bordes y la punta de las hojas maduras (figura 30).

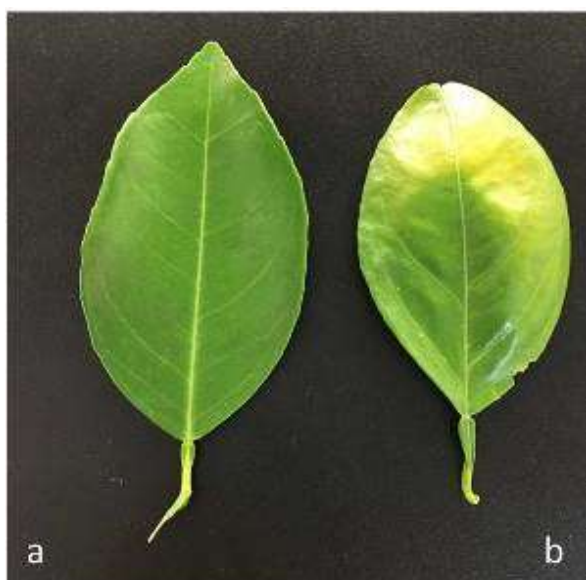


Foto: Marlon Yacomelo

Figura 3. Síntomas de deficiencia de potasio. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hoja con clorosis en su punta.

Calcio (Ca)

Este elemento se mueve en la planta por transpiración y es inmóvil. Sus deficiencias se manifiestan en las hojas más nuevas, y en la lima ácida Tahití se observan en los sitios de nuevo crecimiento (meristemas y frutos). Las plantas con deficiencia se caracterizan por presentar necrosis en los meristemas, entrenudos cortos y hojas jóvenes malformadas. Los frutos tienden a rajarse y en algunos casos se necrosan. Esta deficiencia es más común en suelos con pH ácidos, en regiones donde hay altas precipitaciones, que provocan lixiviaciones o el lavado del nutriente en el suelo (figura 31).



Fotos: Marlon Yacomelo; Heberth Velásquez

Figura 4. Síntomas de deficiencia de calcio. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hoja con clorosis en parte intermedia; c. Hoja con clorosis en los bordes.

Las deficiencias de calcio son comunes en la región de Lebrija y en los Llanos Orientales. Además de afectar los rendimientos, esta deficiencia puede ocasionar deterioro en la parte apical de las frutas, que en Santander es conocida como “culillo”, lo que afecta la longevidad de la fruta y su calidad para la exportación.

En condiciones de suelos ácidos, es necesario incrementar el contenido de Ca y Mg en el suelo, con la aplicación de correctivos antes del establecimiento del cultivo y durante el desarrollo, mediante el plan de nutrición formulado con base en los resultados del análisis de suelo.

Magnesio (Mg)

Se trata de un nutriente altamente móvil en la planta, y sus deficiencias están marcadas por la presencia de una clorosis intervenal en las hojas maduras, que se observa en forma de V invertida y en algunos casos causan malformaciones (figura 32).



Foto: Heberth Velásquez

Figura 5. Síntomas de deficiencia de magnesio. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hoja con clorosis intervenal que forma una V invertida.

Azufre (S)

En las plantas, el azufre presenta una movilidad intermedia, caso en el cual las deficiencias se observan en las hojas del tercio medio de las plantas, usualmente con una clorosis generalizada, que las torna de color verde pálido o amarillo. Otra de las manifestaciones está asociada con el retraso en el desarrollo de las flores y la maduración de los frutos (figura 33).

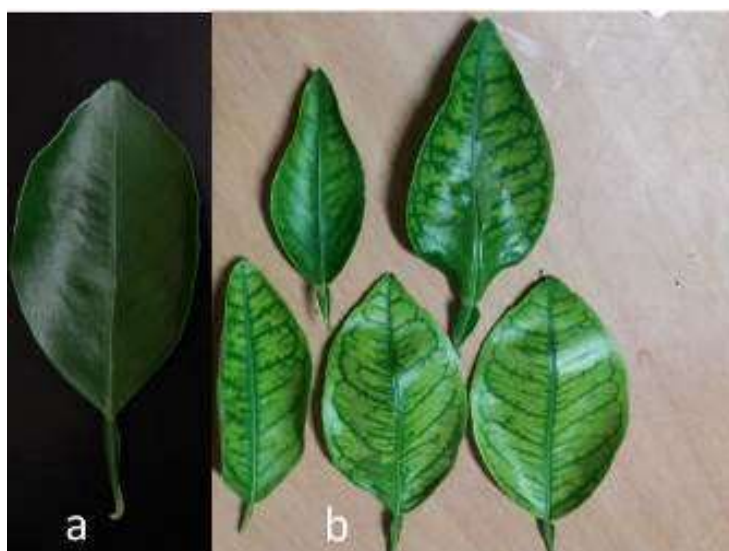


Foto: Marlon Yacomelo

Figura 6. Síntomas de deficiencia de azufre. a. Hoja de color verde pálido; b. Hoja sana (verde intenso).

Hierro (Fe)

Es un nutriente de baja movilidad en la planta, y los síntomas de su deficiencia se manifiestan en la pérdida de pigmentación de las hojas, causada por la disminución del contenido de clorofila en los cloroplastos, que deja las nervaduras verdes (figura 34).

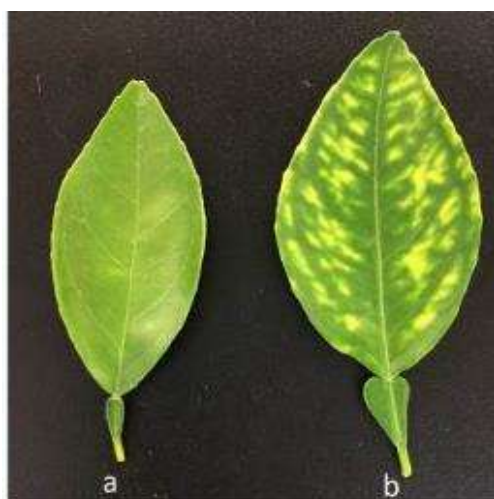


Fotos: Marlon Yacomelo

Figura 7. Síntomas de deficiencia de hierro. a. Hoja sana (verde intenso); b. Despigmentación en las hojas nuevas, que solo mantienen de color verde las nervaduras.

Manganeso (Mn)

Se trata de un nutriente de baja movilidad en las plantas. Sus deficiencias se manifiestan con la presencia de clorosis intervenal en las hojas jóvenes (figura 35).



Fotos: Marlon Yacomelo

Figura 8. Síntomas de deficiencia de manganeso. a. Hoja sana (verde intenso); b. Clorosis intervenal en las hojas nuevas.

Cobre (Cu)

Es un nutriente de baja movilidad en la planta. Su deficiencia causa hojas grandes de color verde oscuro y la presencia de entrenudos cortos (figura 36).



Foto: Heberth Velásquez

Figura 9. Síntomas de deficiencia de cobre. a. Hoja joven sana; b Hojas jóvenes, de mayor tamaño y color verde intenso.

Zinc (Zn)

Se trata de un nutriente de baja movilidad en la planta, y sus deficiencias se manifiestan en una reducción del tamaño de las hojas, el acortamiento de entrenudos y clorosis intervenal (figura 37).

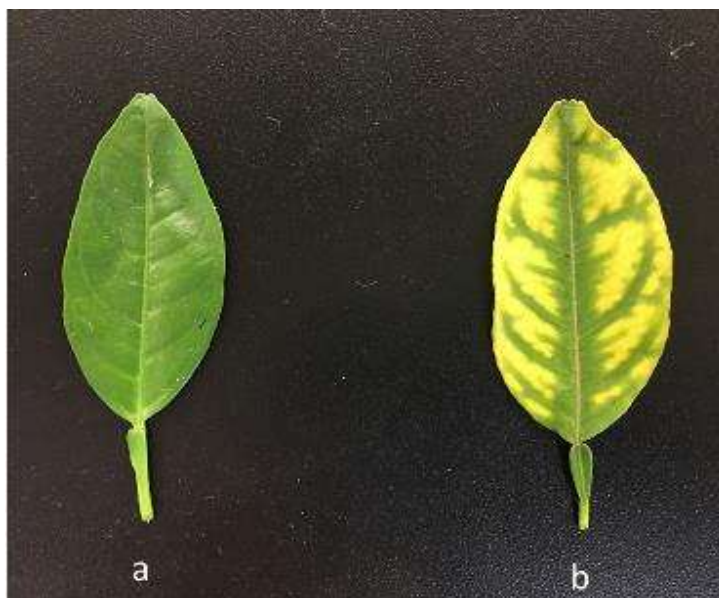


Foto: Marlon Yacomelo

Figura 10. Síntomas de deficiencia de zinc. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hojas nuevas pequeñas, con clorosis intervenal.

Boro (B)

Es un nutriente de baja movilidad en la planta. Sus deficiencias impiden el crecimiento de los brotes, lo que ocasiona hojas asimétricas o con deformaciones, por lo general en su punta (figura 38). También se evidencian deformidades en los frutos.

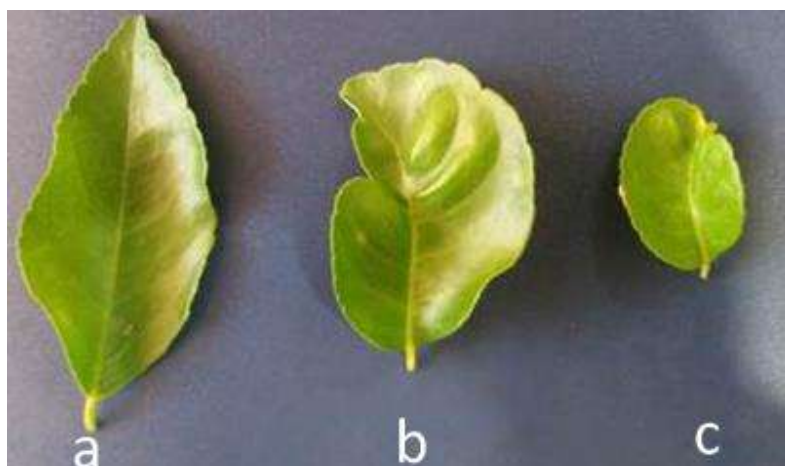


Foto: Marlon Yacomelo

Figura 11. Síntomas de deficiencia de boro. a. Hoja sana (verde intenso); b. Hojas con deformidad en los bordes; c. Hojas de menor tamaño y con deformidad en las puntas.

Molibdeno (Mo)

Se trata de un nutriente de baja movilidad, y sus deficiencias causan hojas angostas (figura 39).

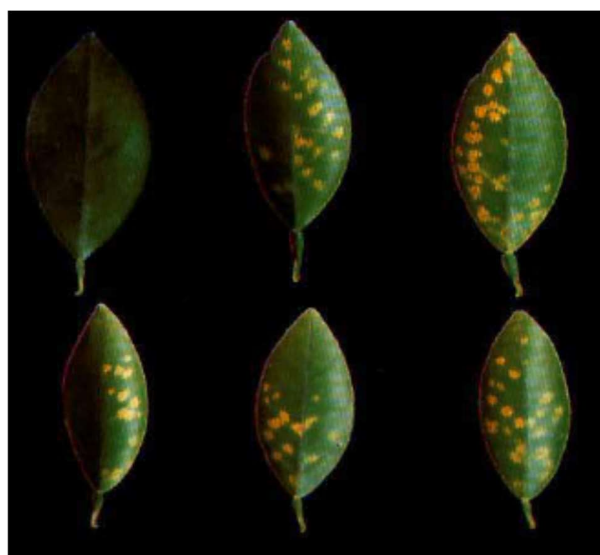


Foto: Francisco Legaz

Figura 12. Hojas angostas con manchas cilíndricas por deficiencia de molibdeno.

Análisis foliares y de suelo

Los análisis foliares y de suelo son las herramientas de diagnóstico para conocer el estado nutricional de la planta y el suelo. Los dos se complementan y permiten tomar las mejores decisiones a la hora de elaborar un plan de nutrición.

A continuación, se relaciona el procedimiento para tomar una muestra de suelo. En primer lugar, se deben identificar las áreas comunes dentro del lote (figura 40).

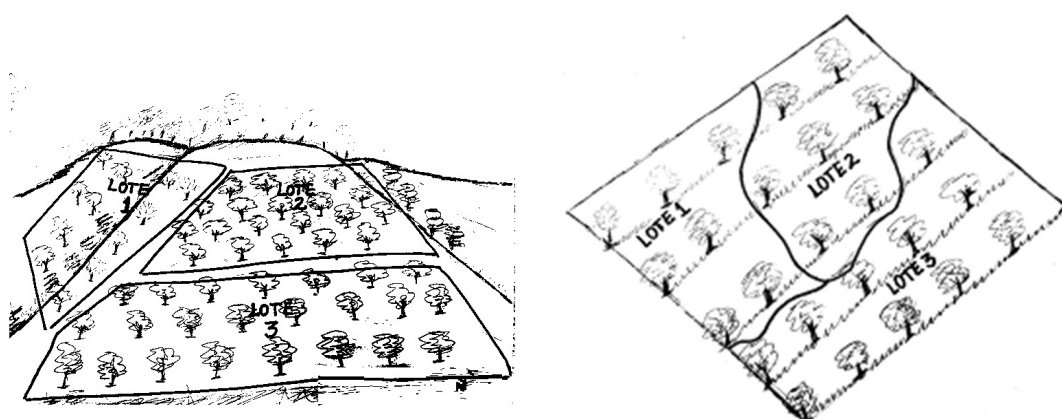


Figura 13. Muestreo de suelo de acuerdo con las características del lote. a. Identificación de zonas homogéneas en suelos de montaña; b. Identificación de zonas homogéneas en un lote de pendiente plana.

Ilustración: Leddy Roperio

En segundo lugar, se toma una muestra de suelo representativa del lote, de aproximadamente 1 kg. La muestra consiste en una mezcla de al menos 20 porciones de suelo (submuestras), tomadas al azar en el lote donde se desea establecer el cultivo. Las muestras deben recolectarse por lo menos entre dos y tres meses antes del establecimiento, procurando recogerlas cuando el suelo esté húmedo (capacidad de campo).

Para tomar la muestra se deben tener a la mano los siguientes implementos: balde limpio, barreno o palín, machete limpio, bolsas plásticas y hojas de información para marcar las muestras (figura 41a). Una vez que se cuente con

todas las herramientas, se procede a hacer el muestreo en el lote, que se puede realizar en forma de zigzag, en cuadro o al azar.



Fotos: Marlon Yacomelo

Figura 14. Muestreo de suelo. a. Implementos necesarios; b. Limpieza de la superficie del suelo; c. Perforación; d. Extracción de la muestra; e. Limpieza de la muestra; f. Depósito y mezcla de las submuestras; g. Empaque de la muestra; h. Marcación y contramuestra para envío al laboratorio.

En lo que respecta a los frutales, la muestra para análisis de la fertilidad del suelo se debe tomar a tres profundidades, de 0 a 15 cm, de 15 a 30 cm y de 30 a 50 cm, debido a que, por lo general, la concentración de los nutrientes varía dependiendo de la profundidad y a que las plantas cítricas toman nutrientes hasta esas profundidades del suelo.

Antes de recolectar la muestra, es necesario raspar la superficie del suelo, con el fin de eliminar el tejido vegetal de la superficie, que puede alterar los resultados del laboratorio (figura 41b). Para la toma de la muestra se hace un hoyo en forma de V, de aproximadamente 20 cm de ancho y de longitud, y 50 cm de profundidad (figura 41c), y en cada punto se toman tres muestras de suelo, una entre los 0 y los 15 cm, la segunda entre los 15 y los 30 cm, y la última entre los 30 y los 50 cm.

La extracción de la muestra se realiza con un palín o barreno. En el primer caso se introduce el palín en el suelo hasta la profundidad deseada, tomando una porción de suelo de aproximadamente 20 cm de longitud x 15 de ancho x 3 cm de grosor, y de esta porción se extrae el cuadrante central de la submuestra, la cual debe ser depositada en el balde limpio (figuras 41d y 41e).

Esta operación debe repetirse cada vez que se desee tomar una submuestra (unas 20 por hectárea). Al finalizar la extracción de las muestras de suelo, deben mezclarse hasta homogenizar la muestra tomada en los diferentes puntos del lote, sacando dos muestras de 1 kg para cada profundidad (figuras 41f y 41g).

Las muestras deben marcarse con la información del lote: nombre de la finca y propietario, nombre del lote y ubicación geográfica, pendiente, profundidad en la cual se tomó la muestra de suelo, cultivo y tipo de análisis solicitado (figura 41h). Luego de empacar la muestra, debe enviarse al laboratorio para sus respectivos análisis.

En cuanto a los cultivos establecidos, también se realiza un muestreo en zigzag o en cuadro, tomando las muestras en varios árboles del total establecido por lote. En promedio, se sugiere recolectar muestras de por lo menos 20 árboles por cada lote con un área no mayor a 2 ha.

Con ese fin, se sigue el protocolo descrito anteriormente, pero en este caso es necesario tomar en total cuatro submuestras por árbol, a dos profundidades, dos entre 0 y 20 cm y dos entre 20 y 40 cm, en lados opuestos de la copa de los árboles, ya que hasta esas profundidades las plantas cítricas absorben el mayor porcentaje de nutrientes del suelo.

Es necesario que las muestras se recolecten en el tercio medio del área de cubrimiento de la copa (figura 42), y todas las submuestras tomadas en su respectiva profundidad deben mezclarse, sacando una sola muestra representativa de cada profundidad.

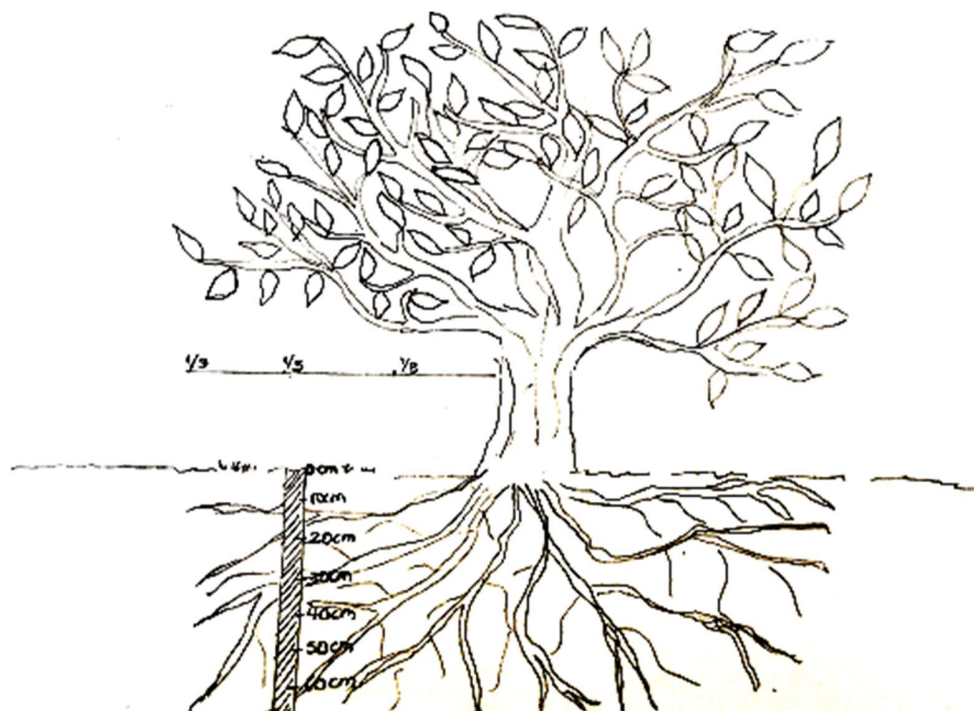


Figura 15. Muestreo de suelo en cultivos de lima ácida Tahití ya establecidos.
Ilustración: Marlon Yacomelo

Las muestras de suelo deben ser tomadas 15 días después de la cosecha principal, teniendo en cuenta que la planta ha realizado un gran esfuerzo para lograr la producción, y va a requerir nutrirse para recuperarse y volver a iniciar su ciclo fenológico de la mejor manera.

Por otro lado, se requiere hacer un análisis foliar, en el que las muestras se tomen en el tercio medio de las plantas y estén conformadas por hojas jóvenes, verificando que se encuentren sanas y libres de impurezas (figura 43).



Figura 16. Toma de muestras foliares para análisis químico.

Ilustración: Marlon Yacomelo

Al igual que para la muestra de suelo, se deben tomar por lo menos 20 submuestras por lote, las cuales deben ser mezcladas, sacando una muestra representativa. Posteriormente, se envían al laboratorio para su análisis.

Una vez que se han recibido los resultados de los análisis foliares y de suelo, donde se relacionan las concentraciones de los nutrientes y las características físicas del suelo, se deben comparar con las exigencias nutricionales del cultivo (requerimientos nutricionales), con el fin de diagnosticar si el suelo puede aportar las cantidades necesarias de nutrientes para el óptimo desarrollo de las plantas. De no ser así, se deben aplicar al suelo fertilizantes o enmiendas que aumenten la concentración de los nutrientes deficitarios.

Para el caso del cultivo de lima ácida Tahití en Colombia, no existen reportes acerca de sus requerimientos nutricionales. Sin embargo, en la tabla 4, 5 y 6 se relaciona la información que se puede utilizar como guía para interpretar los resultados de los análisis químicos de suelo.

Tabla 2. Rangos para interpretar los resultados del análisis químico de suelos

Parámetro		Unidad	Interpretación				
			Muy baja	Baja	Suficiente	Alta	Muy alta
Fósforo (P)		mg.kg ⁻¹	<5	5-15	15-30	30-45	>45
Azufre (S)		mg kg ⁻¹	<3	3-6	6-12	12-15	>15
Hierro (Fe)		mg kg ⁻¹	<10	10-25	25-50	50-10	>100
Manganeso (Mn)		mg kg ⁻¹	<2,5	2,5-5,0	5-10	10-20	>20
Cobre (Cu)		mg kg ⁻¹	<0,5	0,5-1,0	1-3	3-5	>5
Zinc (Zn)		mg kg ⁻¹	<0,5	0,5-1,5	1,5-5,0	5-10	>10
Boro (B)		mg kg ⁻¹	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,0	1,0-1,5	>1,5
Calcio (Ca)		cmol _c /kg ⁻¹	<1	1-3	3-6	6-9	>9
Magnesio (Mg)		cmol _c kg ⁻¹	<0,5	0,5-1,5	1,5-2,5	2,5-3,0	>3
Potasio (K)		cmol _c kg ⁻¹	<0,05	0,05-0,15	0,15-0,30	0,3-0,5	>0,5
Sodio (Na)		cmol _c kg ⁻¹	<0,5	0,5-1,0			>1
Aluminio (Al)		cmol _c kg ⁻¹	<0,5	0,5-2,0			>2
pH	Acidez extrema	Acidez fuerte	Acidez moderada	Acidez ligera	Neutralidad	Alcalinidad	Alcalinidad alta
	<5	5,0-5,5	5,5-6,0	6,0-6,5	6,5-7,3	7,3-8,0	>8

Fuente: Osorio (2014)

Tabla 3. Absorción de nutrientes para alcanzar rendimientos de 30 t/ha

Absorción de nutrientes (kg/ha)				
Nitrógeno (N)	Pentaóxido de difósforo (P ₂ O ₅)	Óxido de potasio (K ₂ O)	Óxido de magnesio (MgO)	Azufre (S)
270	60	350	40	30

Fuente: Instituto Internacional de la Potasa (1987)

Tabla 4. Extracción de nutrientes (kg t⁻¹) de fruta

Extracción de nutrientes (%)					
Nitrógeno (N)	Fósforo (P)	Potasio (K)	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Azufre (S)
1,6	0,2	1,7	0,7	0,2	0,1

Fuente: International Fertilizer Industry Association (IFA) (1992)

Métodos de aplicación de fertilizantes

Aplicación de fertilizantes sólidos

La aplicación de los fertilizantes sólidos se puede realizar principalmente al voleo (figura 44) y en corona (figura 45). El primer método causa que las plantas expandan las raíces superficiales por toda el área de la copa, y el segundo que las raíces crezcan hasta la gotera de la copa en busca del fertilizante, lo que genera un mejor anclaje.

En este sentido, se sugiere intercalar los dos métodos, para garantizar un buen desarrollo de las raíces y un mayor aprovechamiento del fertilizante. Es necesario tener en cuenta que, en el momento de aplicar los fertilizantes, el área que va de la gotera al tronco de la planta debe estar libre de malezas, y en ambos métodos es importante que el fertilizante sea incorporado al suelo, para asegurar una mayor eficiencia.



Fotos: Víctor Redondo

Figura 17. Fertilización al voleo. a. Aplicación; b. Incorporación en el suelo.



Fotos: Víctor Redondo

Figura 18. Aplicación de fertilizante en corona. a. Elaboración de zanja alrededor de la gotera del árbol; b. Aplicación en el interior de la zanja; c. Fertilizante cubierto con una capa de suelo.

Aplicación foliar de fertilizantes

En muchas ocasiones, la calidad de los frutos de lima ácida Tahití está determinada por el contenido de nutrientes, por lo cual se requiere una alta disponibilidad de estos durante la formación del fruto. En estos casos, la fertilización foliar es particularmente eficiente.

La aplicación foliar de Ca durante el crecimiento de los frutos contribuye al mejoramiento de la calidad de la fruta, del mismo modo que otros nutrientes que no están disponibles para la planta en el suelo. También se sugiere utilizar la fertilización foliar cuando se desea corregir una deficiencia nutricional, principalmente de elementos menores (boro, zinc, cobre, hierro y manganeso), de manera rápida.

En síntesis, se recomienda utilizar las dos prácticas de fertilización, para garantizar que las plantas tengan un mejor y mayor aprovechamiento de los nutrientes. Es necesario tener en cuenta que las dosis dependen de las exigencias nutricionales de la planta y de la concentración del nutriente en el suelo.

Por su parte, la frecuencia de aplicación obedece a las características del suelo. Por ejemplo, en suelos arenosos se sugiere fraccionar el fertilizante por lo menos en cuatro aplicaciones por cada ciclo productivo.

A su vez, la cantidad de nutrientes que se aplique depende del estado fenológico de la planta. Por ejemplo, se requiere una mayor cantidad de nitrógeno durante el inicio de la etapa vegetativa, es decir, después de la cosecha; por el contrario, la planta tiene una mayor exigencia de potasio para la formación del fruto (al menos el 60 % de los nutrientes se deben aplicar en este estado).

Algunas fuentes de fertilizantes y sus usos

En la tabla 7, se relacionan algunos de los fertilizantes utilizados en Colombia como fuente para suplir las necesidades nutricionales de la lima ácida Tahití. Se trata de una referencia acerca de algunos de los productos disponibles en el mercado, pues la oferta en el país es muy amplia, y por ello se sugiere estar atento o revisar el listado de productos con registro del ICA para su comercialización y utilización en Colombia.

En términos generales, en Colombia hay pocos estudios acerca de los requerimientos nutricionales de la lima ácida Tahití. Desde el año 2007, AGROSAVIA ha venido realizando un estudio sobre las necesidades nutricionales e hídricas de esta especie. Las recomendaciones se basan en conseguir un balance nutricional, ajustando lo que la planta necesita teóricamente (Corrales, 2002) (tabla 8), los contenidos de nutrientes en el suelo (análisis químico de suelos) y las concentraciones de nutrientes en el tejido foliar (análisis de tejido).

Tabla 5. Algunos productos utilizados en Colombia para la fertilización de cultivos

Fertilizante	Nutrientes que aporta	Concentración del nutriente (%)
Elementos mayores		
Urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$]	N	46
Sulfato de amonio [$\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$]	N	21
	S	24
Nitrato de calcio [$(\text{NO}_3)_2\text{Ca}$]	N	15,5
	Ca	21
Ácido fosfórico [H_3PO_4]	P_2O_5	52-60
Fosfato monoamónico (map) [$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$]	P_2O_5	50
	N	10
Fosfato diamónico (dap) [$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$]	P_2O_5	46
	N	18
Superfosfato triple [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\text{H}_2\text{O}$]	P_2O_5	46
	Ca	13,6
	S	1,4
Cloruro de potasio [KCl]	K_2O	60
	Cl	39
Sulfato de potasio [K_2SO_4]	K_2O	50
	S	18
Nitrato de potasio [KNO_3]	K_2O	44
	N	13
	N	10
10-30-10	P_2O_5	30
	K_2O	10
	N	15
Triple 15 (15-15-15)	P_2O_5	15
	K_2O	15
	N	18
Triple 18 (18-18-18)	P_2O_5	18
	K_2O	18
	N	17
Cafetero (17-6-18-2)	P_2O_5	6
	K_2O	18
	MgO	2
	N	10

Continuación tabla 7

	P ₂ O ₅	20
	K ₂ O	20
18-3-16-7	N	18
	P ₂ O ₅	3
	K ₂ O	16
	MgO	7
	N	28
Nitrasm	P ₂ O ₅	4
	S	6
Fuente de elementos secundarios		
Óxido de magnesio	MgO	40
Óxido de magnesio (polvo)	MgO	85
Kieserita [SO ₄ Mg.H ₂ O]	MgO	25
	S	20
Nitrato de magnesio [Mg(NO ₃) ₂]	N	11
	MgO	16
Cal dolomita	MgO	17,5
	CaO	32
Sulfato de magnesio	MgO	16,5
	S	12
Microelementos		
Complejo de boro y zinc	B	2,5
	Zn	15
Boro granulado	B	10
Sulfato de manganeso granulado [SO ₄ Mn]	Mn	20
Sulfato de zinc granulado [SO ₄ Zn]	P ₂ O ₅	3
	Zn	22
	S	7
Sulfato de zinc (polvo) [SO ₄ Zn]	S	14
	Zn	28
Ácido bórico [H ₃ BO ₃]	B	17
Bórax [Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O]	B	11

Fuente: Elaboración propia

Los tratamientos evaluados en el estudio consistieron en: N1, nivel de nitrógeno según el análisis químico de suelo/requerimientos de la planta; N2, doble del N1, y N3, nivel de nitrógeno utilizado por el productor (Dorado, Grajales, & Ríos, 2015).

Los resultados arrojaron que el mejor nivel fue el N2, con el cual se obtuvo el mayor rendimiento, 33,12 t/ha⁻¹. Sin embargo, con N1 se presentaron los mejores valores en la mayoría de las variables de calidad evaluadas. En la tabla 9 se presentan los valores de nitrógeno considerados para tres localidades donde se realizó el estudio: Atlántico, Santander y Tolima.

Tabla 6. Niveles adecuados de nutrientes en el suelo para cítricos

Parámetro/nutriente	Rango adecuado
Materia orgánica del suelo (M. O.)	4-8 %
Fósforo	8-10 ppm
Azufre	10-15 ppm
Calcio	3-4 mEq/100 g
Magnesio	0,8-1,2 mEq/100 g
Potasio	0,3-0,4 mEq/100 g
Sodio	0-3 cmol/kg
Hierro	40-50 ppm
Cobre	1,0-1,5 ppm
Manganeso	5-10 ppm
Zinc	3-5 ppm
Boro	0,3-1,0 ppm
pH	5,0-6,5
Conductividad eléctrica (ce)	<2 dS/m
Capacidad de intercambio catiónico (cic)	>20 cmol/kg

Fuente: Corrales (2002)

Tabla 7. Fórmula de nutrición quincenal para la lima ácida Tahití

Fertilizante	Dosis quincenal (g)		
	Atlántico (Santo Tomás)	Santander (Lebrija)	Tolima (El Espinal)
Urea	163		196
Fosfato diamónico (DAP)	97	68	39
NP	119		
Nitrato de potasio		109	49
Sulfato de amonio (SAM)			5
Sulfato de manganeso (SMn)	17	16	22
Vícor	78		22
Quelato de hierro			41
Nitron		291	
Sulfato de magnesio (SMg)		78	
Zinc quelatado		12	
Bórax		4	

Fuente: Dorado et al. (2015)

Por otra parte, en 2017, se finalizó la investigación “Desarrollo de los modelos productivos regionales de cítricos”, que tuvo como resultado la oferta tecnológica denominada “Manejo del riego y la nutrición para huertos de lima ácida Tahití ubicados en zonas de clima seco tropical” (Ríos-Rojas et al., 2017, datos inéditos).

Esta recomendación aplica para huertos productores del Tolima en el valle del Magdalena, donde la textura predominante del suelo es arenosa, con buen drenaje. En este caso, la fertilización debe ser una labor quincenal, administrada en forma de *drench* o fertirriego, con bajos caudales de emisión.

En la tabla 10 se relaciona la fórmula de fertilización utilizada en la investigación de Agrosavia. Con esta recomendación de nutrición se han conseguido rendimientos de hasta 36 t/ha.

Tabla 8. Dosis y nutrientes para huertos del Tolima

Época de aplicación	Fuente de fertilización	Composición de la fuente	Cantidad (kg/ha)
Semestre I	SAM (NH ₄ SO ₄)	21 % N + 24 % S	190
	KCl	60 % K ₂ O	63,6
	Vicor 3	3 % N + 15 % Ca + 5 % Mg + 3 % S + 1 % B + 0,02 % Cu + 0,02 % Mn + 2,5 % Zn	40
Semestre II	Urea	46 % N	135
	KCl	60 % K ₂ O	63,6
Semestre III	SAM (NH ₄ SO ₄)	21 % N + 24 % S	190
	KCl	60 % K ₂ O	63,6
	Vicor 3	3 % N + 15 % Ca + 5 % Mg + 3 % S + 1 % B + 0,02 % Cu + 0,02 % Mn + 2,5 % Zn	40
Semestre IV	Urea	46 % N	135
	KCl	60 % K ₂ O	63,6

Fuente: Ríos et al. (2017, datos inéditos)

En conclusión, el manejo adecuado del suelo y la nutrición de las plantas es de vital importancia para garantizar buenos rendimientos y calidad de fruta. En este sentido, el primer paso antes de iniciar un proyecto productivo consiste en realizar un análisis de suelo antes del establecimiento del cultivo y, posteriormente, realizar análisis periódicos tanto de suelo como de tejido foliar.

Las reservas nutricionales se pueden agotar por el consumo de la planta o por el lavado del suelo, aún más en suelos con características arenosas. En suelos donde se sobreirriga, las láminas de riego se convierten en volúmenes de lavado, por lo cual, en estos huertos, la fertilización debería ser más constante y asociada a una lámina adecuada de riego.

Cuando se utilizan fertilizantes edáficos granulados o en polvo, la labor de fertilización debe hacerse de manera manual. Cuando se opta por fuentes hidrosolubles, se prefiere el fertirriego, que minimiza la mano de obra y localiza mejor el producto.

Manejo de la acidez de los suelos

La acidez adquiere importancia en los suelos tropicales y en especial en Colombia, donde los suelos ácidos ocupan más del 80 % del territorio. Esta condición incide directamente en la solubilidad de los nutrientes para las plantas, afectando en gran medida los rendimientos (Zapata, 2004).

Es el caso de los suelos de la Orinoquia, donde, debido a la alta acidez y la baja fertilidad de la mayoría de ellos, es necesario aplicar correctivos que permitan neutralizar parcial o totalmente las especies iónicas del aluminio, elevar el pH, e incrementar la saturación de bases del suelo (Ca, Mg, K) a niveles cercanos al 60 % o el 70 % (Quaggio, Mattos, & Cantarella, 2005).

Para lograrlo se requiere la aplicación de cales y otras enmiendas. Las cales más utilizadas son la cal agrícola-carbonato de calcio (CaCO_3) y la dolomita ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$). En el país, la cal agrícola contiene entre un 70 % y un 80 % de carbonato de calcio, y la cal dolomita entre un 40 % y un 70 % de carbonato de calcio + del 8 % al 36 % de carbonato de magnesio (MgCO_3).

Ambas cales presentan una alta reactividad en la capa arable del suelo (20 cm), aunque la agrícola presenta una mayor reactividad en menor tiempo, por lo que es necesario que las aplicaciones de cal dolomita se realicen mínimo 30 días antes del establecimiento del cultivo, para garantizar que las plantas encuentren las condiciones óptimas para su crecimiento.

Adicionalmente, donde es necesario realizar una corrección de la acidez en el subsuelo (> 20 cm de profundidad), se sugiere la utilización del yeso agrícola, el cual, por su alta solubilidad, permite mejorar la cantidad de bases a mayores profundidades. La dosis recomendada equivale a la tercera parte del total de la cal requerida, y se debe aplicar uniformemente sobre la superficie del suelo (Baquero, Orduz-Rodríguez, & Monroy, 2003).

En los cítricos establecidos en los suelos de la terraza alta y la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia, se recomienda realizar la aplicación de los correctivos sobre las franjas donde se van a ubicar los árboles.

Además, teniendo en cuenta las condiciones edafoclimáticas de la región, se sugiere la utilización de fuentes fosfóricas de media a lenta solubilidad (escorias Thomas o rocas fosfóricas molidas o parcialmente aciduladas), entre 45 y 60 días antes del trasplante, que también aportan algunos elementos secundarios, como Ca y S, y menores, como B, Mo, Zn y Cu. A continuación, se presentan las ecuaciones que se sugiere tener en cuenta para determinar la cantidad de cal requerida.

Ecuación propuesta por Malavolta (1995):

$$N.C. (Cal Dolomita) = \frac{T(V2 - V1) \times P}{PRNT}$$

Donde:

N. C. = necesidad de encalado (t.ha⁻¹)

T = CICE a pH 7,0 (H + Al + K + M) cmol² kg⁻¹

V1 = saturación de bases deseada (60 % a 70 %)

V2 = saturación de bases actual = (K + Ca + Mg) × 100

PRNT = poder relativo de neutralización de la cal dolomita (promedio) = 75 % a 85 %

P = factor para estimar la profundidad de incorporación de la cal

0-10 cm para huertos en producción = 0,5

0-20 cm antes del trasplante = 1,0

0-30 cm antes del trasplante o después de subsolar = 1,5

Ecuación propuesta por Cochrane, Salinas y Sanchez (1980):

$$\text{Calcio requerido para encalar} \left(\frac{\text{cmol}}{\text{Kg}} \right) = 1,5 \llbracket Al - RAS(Al + Ca + Mg) \rrbracket$$

Donde:

RAS = saturación crítica de Aluminio

Al, Ca y Mg = Aluminio, Calcio y Magnesio, bases intercambiables

1,5 = factor de corrección, que puede ser sustituido por 2, si se desea un valor muy bajo de aluminio intercambiable

En conclusión, el manejo adecuado del suelo y la nutrición de las plantas son de vital importancia para garantizar el buen desarrollo de las plantas, obtener altos rendimientos y garantizar la calidad de la fruta. Los programas de manejo dependen de las condiciones edafoclimáticas de la región (clima, propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo) y de las exigencias nutricionales del cultivo.

Agradecimientos

Al ingeniero agroforestal Heberth Velásquez del CI La Libertad y al biólogo Yeison David López-Galé del CI Palmira, por la colaboración prestada en la edición y consolidación del documento.

Referencias

- Baquero, J., Orduz-Rodríguez, J., & Monroy, H. (2003). *Desarrollo y transferencia de tecnología en recursos genéticos y prácticas apropiadas para la citricultura llanera* (Informe final de proyecto). Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria (PRONATTA).
- Burbano, H., & Silva, F. (2010). *Ciencia del suelo, principios básicos*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Castro, H., & Gómez M. (2010). Fertilidad de suelos y fertilizantes. En H. Burbano & F. Silva (Eds.). *Ciencia del suelo, principios básicos* (pp. 217-303). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Cochrane, T., Salinas, J., & Sanchez, P. (1980). An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminium tolerance. *Tropical Agriculture*, 57(2), 133-140.

- Corrales, A. (2002). *Manual ilustrado para la producción de cítricos en Colombia*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Asociación Nacional de Productores de Cítricos (ASOCÍTRICOS), Fondo de Fomento Hortifrutícola (FNFH).
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Washington, EE. UU.: USDA.
- Dorado, D., Grajales, L., & Ríos, L. (2015). Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití *Citrus latifolia* Tanaka (Rutaceae). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 87-93.
- Instituto Internacional de la Potasa (1987). Extracción de nutrientes por los cultivos. *Corresponsal Internacional Agrícola (CIA)*, 28(3), 6-7.
- International Fertilizer Industry Association (IFA). (1992). *World Fertilizer Use Manual*. París, Francia: IFA.
- Legaz, F., & Primo, E. (s. f.). *Normas para la fertilización de los agrios*. Recuperado de https://www.infoagro.com/documentos/normas_fertilizacion_agrios.asp.
- Malavolta, E. (1995). Nutrición y fertilización de los cítricos. En R. Guerrero (Ed.). *Fertilización de cultivos de clima medio* (pp. 118-155). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos.
- Osorio, W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico*. Bogotá, Colombia: Editorial L. Vieco.
- Quaggio, J., Mattos, D., & Cantarella, H. (2005). Manejo da fertilidade do solo na citricultura. En D. Mattos, J. D. de Negri, R. M. Pio, & J. Pompeu (Eds.) *Citros* (pp. 483-507). Campinas, Brasil: Instituto Agronômico, Fundação de Apoio à Pesquisa Agrícola (FUNDAG).
- Zapata, R. (2004). *Química de la acidez del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.