

# III. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN



## III. NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN

Álvaro Tamayo V.<sup>1</sup>  
Walter Osorio V.<sup>2</sup>

### Características de los suelos

#### Clima frío

En términos generales los suelos de clima frío en Colombia tienen una relativa baja disponibilidad de nutrientes, desbalances nutricionales y el pH del suelo es normalmente bajo, lo que hace que se consideren entre extremadamente a fuertemente ácidos (4,5 - 5,5). El aluminio intercambiable generalmente es menor de 3,0  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de suelo; no obstante, puede representar hasta el 60% de la capacidad de intercambio catiónico (Muñoz, 1998).

En estos suelos de clima frío, la materia orgánica humificada desempeña un papel preponderante en las propiedades físicas, generando suelos bien estructurados y estables (Zapata y Osorio 2010). En cambio, en la parte química esta contribuye en forma notoria en la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y en la capacidad buffer del suelo (Zapata, 1998); sin embargo, su tasa de descomposición es muy baja ( $\sim 0,1\%$ ) y, por ende, aporta poco nitrógeno, fósforo y azufre inorgánico. Por tal razón, los cultivos que se establecen en esta región (hortalizas y frutales) responden positiva y significativamente a aplicaciones de enmiendas orgánicas (compost, gallinaza, lombricompost,

entre otros) que exhiben una mayor mineralización (Tamayo *et al.*, 1998). Otra característica importante en estos suelos, es la alta capacidad de cambio aniónico y la fijación de fosfatos, lo cual se atribuye a los altos contenidos de alófana, goetita e imogolita y a complejos húmico-alofánicos (Shoji *et al.*, 1993). Por otro lado, los contenidos de calcio y magnesio tienden a ser bajos por la alta lixiviación.

Sin embargo, el potasio puede estar en valores medios a altos, debido a que el material parental (cenizas volcánicas y feldespatos de potasio, entre otros), aún contribuye con el aporte de este elemento. Los elementos menores catiónicos (hierro, manganeso, cobre, zinc) suelen estar en contenidos altos a medios; en contraste, boro y molibdeno tienden a estar en baja disponibilidad (Jaramillo, 1995; Muñoz, 1998).

En la década del 70 (Siglo XX), se utilizó en estos suelos, cal agrícola en dosis tan altas, como 20 - 30  $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$  para neutralizar la acidez; otros elementos como el magnesio y potasio no se aplicaron tan regularmente y en algunos cultivos se generaron desbalances de bases y deficiencias de estos elementos.

<sup>1</sup> I.A. M.Sc. Suelos. Investigador Máster. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, C.I. La Selva. Rionegro, Antioquia, Colombia. Correo electrónico: atamayo@corpoica.org.co

<sup>2</sup> I.A. Ph.D. Docente e Investigador. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias. Medellín, Colombia. Correo electrónico: nwsorio@unal.edu.co



## Clima medio

En Colombia, el piso térmico medio o templado abarca la franja altitudinal entre 1.000 y 2.000 metros. Los suelos se distinguen por un relieve quebrado que favorece los procesos erosivos, siendo moderadamente evolucionados y su naturaleza mineralógica es acentuadamente variable. Predominan los suelos de origen volcánico, particularmente en las zonas de producción de café (Guerrero, 1995).

En estos suelos se encuentran valores de pH de 5,0 - 6,0 (fuerte a moderadamente ácidos), el contenido de aluminio intercambiable fluctúa de bajo a medio y los contenidos de materia orgánica son muy variables, usualmente en el rango de 3 - 5%, pero en suelos formados a partir de ceniza volcánica se pueden encontrar niveles entre 15 - 20%. Los contenidos de fósforo disponibles, son normalmente bajos (<15 mg.kg<sup>-1</sup>=ppm) y medios a altos en potasio intercambiable (0,15 - 0 - 3 y >0,3 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>). En general, estos suelos son de mediana fertilidad con alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno (N) y fósforo (P). Un alto porcentaje de estos suelos exhiben un bajo contenido de magnesio intercambiable y la relación calcio/magnesio tiende a ser amplia (>3) (Guerrero, 1995).

El exceso de calcio (Ca), por antagonismo iónico, puede inducir deficiencia de magnesio (Mg). En relación con los elementos menores presentan contenidos bajos de boro (B) (<0,5 mg.kg<sup>-1</sup>), cobre (Cu) (<1,0 mg.kg<sup>-1</sup>) y zinc (Zn) (<1,5 mg.kg<sup>-1</sup>). Los suelos generalmente tienen una buena disponibilidad de hierro (Fe) y manganeso (Mn) (Marín, 1986).

## Clima cálido

El clima cálido comprende regiones localizadas a altitudes <1.000 metros; la temperatura es superior a 24°C, cubre aproximadamente el 80% de la extensión territorial del país e incluye las llanuras costeras del Caribe y del Pacífico, los Valles del Magdalena, Cauca, Cesar, Sinú, Catatumbo y Patía, entre otros y las extensas regiones de la Orinoquía y Amazonía. De acuerdo con Marín (1986) y Guerrero (1996), las características generales de las principales regiones de clima cálido, se resumen a continuación.

### Costa Atlántica

Los suelos son de origen aluvial, marino y/o lacustre, en general más o menos bien drenados, excepto aquellas áreas aledañas a los ríos que sufren inundaciones periódicas. Los suelos no inundables, mecanizables tienen niveles de fertilidad variable.

### Valle del Bajo Magdalena

Los suelos de esta región son predominantemente de naturaleza aluvial, originados de sedimentos arenosos, limosos y arcillosos. La mayor parte del área está siendo utilizada en la explotación de ganadería de carne y en menor proporción, en cultivos como algodón, arroz, sorgo y maíz. La mayor limitante para el uso de la tierra es el exceso de agua durante la estación lluviosa.



## Llanos Orientales

Los suelos de esta región se han desarrollado bajo condiciones de alta precipitación y temperatura, a partir de sedimentos aluviales lavados, originando suelos muy ácidos y pobres. Son suelos que presentan concentraciones tóxicas de aluminio y su fertilidad es baja o muy baja, ya que presentan deficiencias en casi todos los nutrientes esenciales. Las zonas de piedemonte y de los planos aluviales tienen condiciones de fertilidad menos adversas.

## Valle del Alto Magdalena

Esta región está localizada en la parte central del país, entre las cordilleras Central y Oriental, incluye terrazas y planadas aluviales, así como planicies semidesérticas. En términos generales, los suelos de esta región son fértiles y apropiados para el desarrollo de una agricultura tecnificada.

## Valle del Cauca

Los suelos se han desarrollado principalmente a partir de depósitos aluviales, compuestos principalmente de sedimentos arcillosos y de arenas volcánicas, existiendo también en los extremos Sur y Norte, fuertes influencias de cenizas volcánicas. Tradicionalmente se han considerado los suelos del Valle del Cauca como de alta fertilidad; sin embargo, en los últimos años una buena parte de ellos se han tornado deficientes en potasio y ocasionalmente en fósforo, particularmente en aquellas áreas bajo explotación agrícola intensiva; de otra parte la ocurrencia de suelos salinos y sódicos se ha incrementado acentuadamente.

## Funciones de los macronutrientes

### Nitrógeno (N)

El papel más importante del N en las plantas es su participación en la estructura de las moléculas de proteína, de aminoácidos, ácidos nucleicos, adenosin trifosfato (ATP), vitaminas y fosfolípidos. En consecuencia, el N está involucrado en la mayoría de las reacciones bioquímicas determinantes para la vida vegetal. El N tiene también un importante papel en el proceso de la fotosíntesis, debido a que es indispensable para la formación de la molécula de clorofila (Glass, 1989).

El N es el componente de vitaminas que tienen una importancia extraordinaria para el crecimiento de la planta. Entre otras funciones importantes del nitrógeno están las de favorecer el crecimiento del follaje, el desarrollo de los tallos y promover la formación de frutos y granos; contribuye, en resumen, a la formación de los tejidos y se puede decir que es uno de los elementos más importantes en crecimiento y desarrollo vegetal (Salisbury y Ross, 1994).

El exceso de N retarda la maduración del cultivo y la formación de frutos, provoca un escaso desarrollo del sistema radical de la planta y un crecimiento excesivo del follaje, reduce la producción de compuestos fenólicos (fungistáticos) de lignina de las hojas, disminuyendo la resistencia a los patógenos obligados, pero no de los patógenos facultativos (Guerrero, 1996).

Como regla general, todos los factores que favorecen las actividades metabólicas y de síntesis de las células y que retardan la senescencia de la planta hospedera (como la fertilización nitrogenada), aumentan la resistencia a los parásitos facultativos.



Por otro lado, las aplicaciones altas de N aumentan la concentración de azúcares, aminoácidos y de amidas libres, lo que aparentemente favorece el desarrollo de enfermedades de las plantas y el ataque de insectos plagas (Marschner, 1997).

## Fósforo (P)

De los tres elementos primarios (N, P, K) el P es requerido en cantidades menores; la disponibilidad de este elemento en la mayor parte de los suelos agrícolas del trópico es muy limitada. El P es un elemento que juega un papel clave en la vida de las plantas. Es constituyente de ácidos nucleicos, fosfolípidos, vitaminas, las coenzimas, NAD y NADP, y más importante aún, forma parte del ATP, compuesto almacenador de energía en la planta. El P se requiere en altas concentraciones en las regiones de crecimiento activo. Otra de sus funciones es estimular el desarrollo de la raíz, interviniendo en la formación de órganos de reproducción de las plantas y acelerando la maduración de los frutos, en los cuales generalmente se acumula en concentraciones altas. El exceso de este elemento acelera la maduración, a expensas del crecimiento y puede generar efectos adversos sobre la utilización de otros elementos nutritivos, como el cobre, hierro y zinc (Glass, 1989).

El potencial de fijación de P (como fosfato) en andisoles, parece estar relacionado con la presencia de diferentes materiales en la fracción arcillosa, que resultan de meteorización de la ceniza volcánica.

Los suelos dominados por complejos humus-aluminio (Al), parecen tener alto potencial de adsorber P, lo cual aparentemente es difícil de saturar.

El contenido de carbono total podría ser un arma de diagnóstico complementaria, que ayuda a determinar la capacidad

de fijación de fósforo en andisoles. La acumulación de materia orgánica es mayor en suelos volcánicos localizados a mayor altitud (>2.000 m); evidencia indirecta obtenida en andisoles de Ecuador y Colombia permite concluir que la fijación de P está estrechamente relacionada con el contenido de carbono en el suelo (complejos humus-Al) (Gualdrón y Herrón, 1979; Espinosa, 1996).



## Potasio (K)

Para un crecimiento vigoroso y saludable, las plantas deben tomar grandes cantidades de K. Este nutriente, altamente móvil, está envuelto en la mayoría, sino en todos los procesos biológicos de la planta; sin embargo, no forma parte de la estructura de los compuestos orgánicos de la planta. Se conoce que el potasio tiene un papel vital, debido a que cataliza procesos tan importantes como la fotosíntesis, el proceso por el cual la energía del sol, en combinación con agua y dióxido de carbono, se convierte en azúcares y materia orgánica, interviene en la formación de clorofila y la regulación del contenido de agua en las hojas (Salisbury y Ross, 1994).

Se ha demostrado también que el K juega un papel fundamental en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos en las plantas. También es importante en la formación del fruto, se le reconoce como un elemento que mejora su calidad, ya que extiende el período de llenado e incrementa su peso; fortifica

los tallos, mejora la resistencia a plagas y enfermedades y ayuda a la planta a resistir mejor el estrés (Salisbury y Ross, 1994).

Otra función básica del potasio es regular la entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en las plantas a través de los estomas, cuya función de abrirse y cerrarse es regulada por el suplemento de este elemento.

Las células de guarda a cada lado del estoma acumulan grandes cantidades de K, si el suplemento es adecuado, forzándolo a que se abra. En plantas bien provistas de K se incrementa el número y tamaño de los estomas por unidad de área, facilitando de esta manera el intercambio de  $\text{CO}_2$  y oxígeno del tejido de la hoja. La función primaria del potasio está ligada al transporte y acumulación de azúcares dentro de la planta función que permite el llenado de la fruta (INPOFOS, 1979).

La apertura y cierre de estomas también regula la transpiración de la planta y esto a su vez controla el movimiento convectivo del agua y facilita su paso de la solución del suelo y de los iones disueltos, hacia la raíz. Además, la transpiración permite que la planta haga una termorregulación y se evite la generación de altas temperaturas que afectarían el desempeño vegetal (Salisbury y Ross, 1994).

## Calcio (Ca)

El Ca forma parte de la pared celular que mantienen unidas entre sí a las células. Igualmente, el Ca ejerce un efecto neutralizador de los desechos orgánicos de la planta, influye en la utilización del Mg, K y B y en el movimiento de las sustancias producidas por las hojas. La deficiencia del Ca implica una reducción del crecimiento; las hojas jóvenes se enroscan y comienzan a secarse por las puntas y los bordes. Algunas veces las hojas nuevas no se desarrollan completamente (Marschner, 1997).

El Ca es uno de los nutrientes más determinantes en la calidad de los frutos en lo referente a su conservación. Es así como los frutos con altos contenidos de calcio, tienden a resistir más el transporte y permanecer en buenas condiciones durante bastante tiempo. La concentración del calcio en el tejido, necesaria para lograr estos resultados, es usualmente superior a las concentraciones que acumulan normalmente los frutos (Salisbury y Ross, 1994).

## Magnesio (Mg)

El magnesio es el componente principal de la clorofila e interviene en la síntesis de carbohidratos. Además, participa en la síntesis de proteínas, nucleoproteínas y el ácido ribonucleico y favorece el transporte de P dentro de la planta (Glass, 1989). Es un elemento móvil en la planta, por lo que su deficiencia se presenta primero en las hojas más viejas.

Del total del magnesio absorbido por la planta, aproximadamente la mitad de éste se encuentra en el tronco y las ramas del árbol, un tercio en las raíces y el resto en las hojas. Durante la floración y fertilización se produce una translocación significativa del magnesio hacia los brotes y frutos (Glass, 1989).

## Azufre (S)

El azufre es un elemento esencial para el desarrollo vegetal. La cantidad requerida por las plantas es similar a la del fósforo y magnesio. Algunos cultivos de importancia en el trópico y en el mercado mundial, como el café, algodón, palma africana y caña de azúcar, absorben más azufre que fósforo (Guerrero, 1996).

En la planta, el azufre es constituyente de las proteínas, varias vitaminas como la tiamina y biotina y es componente importante de numerosas enzimas.



Además, forma parte de algunos compuestos orgánicos responsables del olor y sabor de algunas hortalizas, como la cebolla y el ajo (Salisbury y Ross, 1994).

## Funciones de los micronutrientes

Los investigadores están de acuerdo en que los llamados micronutrientes desempeñan una función tan importante como los llamados elementos mayores.

### Hierro (Fe)

El Fe es el microelemento más abundante en la mayoría de los suelos cultivables, pero buena parte de él se encuentra en una forma no asimilable. La química de este elemento, al igual que la del manganeso (Mn), es muy compleja, pues se sabe que se oxida y reduce fácilmente según las condiciones del suelo. Cuando se oxidan ambos elementos quedan en formas poco solubles y por ende, son poco asimilables para las plantas. El papel más conocido del hierro en el metabolismo de la planta, es su participación en el grupo prostético del sistema citocromo, un grupo de enzimas implicadas en la oxidación terminal de la respiración (Epstein y Bloom, 2005).

Algunas de las enzimas y de los portadores que actúan en el mecanismo respiratorio de las células vivas, son compuestas de Fe; ejemplos específicos son la catalasa, la peroxidasa, la oxidasa citocrómica y los citocromos.

La participación del Fe, en la forma de tales compuestos en los mecanismos oxidativos de las células, es indudablemente uno de los papeles más importantes en el metabolismo celular (Epstein y Bloom, 2005).

El Fe interviene en la formación de clorofila y es por lo tanto indispensable

en la formación de alimentos en la planta; hace parte de la secuencia de reacciones que sintetizan los componentes de la clorofila; actúa como parte de un mecanismo enzimático que opera en el sistema respiratorio de las células vivas; participa en las reacciones que incluyen la división y el crecimiento celular.

El hierro, asociado al cobre, manganeso y boro aumenta el contenido de lignina, compuesto orgánico que cumple funciones de sostén y protección de la planta contra el ataque de organismos causantes de enfermedades (Epstein y Bloom, 2005).

### Manganeso (Mn)

El Mn tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y actúa en la disociación fotosintética de la molécula de agua. El Mn es un elemento esencial para la respiración y para el metabolismo del N; en ambos procesos actúa como activador enzimático. El Mn interviene en la activación de numerosas enzimas que actúan en el metabolismo de los carbohidratos, como la hexoquinasa, adenosina y la fosfoglucoquinasa. Es el ión metálico predominante en el metabolismo de los ácidos orgánicos y activa la reducción del nitrito e hidroxialamina en amoníaco (Salisbury y Ross, 1994; Devlin, 1982).

El Mn es el ión metálico predominante en las reacciones del ciclo de Krebs. El manganeso genera resistencia en la planta a varios patógenos, inhibiendo la enzima fungosa fentin-metilesterasa, esencial para iniciar el proceso infectivo. Además, inhibe enzimas producidas por hongos ya establecidos en la planta. El Mn es esencial en el proceso que controla en la raíz la producción de la microflora, reduciendo la disponibilidad de nutrimentos para los microorganismos patogénicos (Epstein y Bloom, 2005).

## Cobre (Cu)

El Cu está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción. Dos ejemplos notables son la citocromooxidasa, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos.

El Cu induce la formación de polen viable, por ello su más alta demanda se presenta en la floración. El Cu actúa conjuntamente con el Mn y el Zn en la utilización y movilización de otros nutrientes (Salisbury y Ross, 1994; Epstein y Bloom, 2005).

## Zinc (Zn)

El Zn es indispensable en la formación de clorofila. Es componente de varias enzimas, entre ellas las que promueven el crecimiento. También interviene en la utilización del agua y otros nutrimentos. El Zn regula el crecimiento de los meristemas al nivel de la raíz y parte aérea, al controlar la síntesis de triptófano regula la síntesis de la hormona del crecimiento conocida como ácido indolacético (AIA, auxina) (Epstein y Bloom, 2005).

El Zn activa diversos procesos enzimáticos, como la fosforilación de la glucosa y a través de ella, la formación del almidón.

De igual manera actúa en la anhidrasa carbónica para la utilización del ácido carbónico, asociada a la asimilación del CO<sub>2</sub>. Además, está involucrado en la reducción de nitratos y síntesis de aminoácidos que se transformarán en proteínas amoníaco (Salisbury y Ross, 1994).

## Molibdeno (Mo)

El Mo es esencial para el proceso de fijación de nitrógeno por parte de las bacterias en los nódulos de las raíces

de las leguminosas y de bacterias asimbióticas que crecen dentro o en la superficie de la raíz (rizoplasma). Además este nutriente es componente de la enzima nitrato reductasa, esencial en la asimilación metabólica del N.

El Mo es parte estructural de una oxidasa que convierte el aldehído del ácido abscísico (ABA), regulador de crecimiento que protege las plantas contra factores de estrés fisiológico. El Mo induce efectos positivos en la formación de polen viable al momento de la floración y fecundación (Salisbury y Ross, 1994; Devlin, 1982).

## Boro (B)

El B participa de una serie de procesos fisiológicos dentro de la planta y en ocasiones su deficiencia se confunde con la de otros nutrientes como la de P y K. Entre las funciones del boro en las plantas, dos están muy bien definidas, la síntesis de la pared celular y la integridad de las membranas plasmáticas. Por esta razón, con la deficiencia de B se restringe el crecimiento de nuevas raíces y de nuevos brotes. El B actúa sobre la diferenciación de tejidos y la síntesis de fenoles y auxinas, interviene en la germinación y el crecimiento del tubo polínico, es importante en el metabolismo de ácidos nucleicos y en la elongación y división celular e interviene en el transporte de almidones y azúcares desde la hoja hacia los frutos en formación. Disminuye la caída de flores y aumenta la producción de frutos; además, está asociado con la actividad celular que promueve la maduración.

Una vez que el B ha sido utilizado por los tejidos en crecimiento activo de la planta, no puede trasladarse y ser utilizado nuevamente. Esto significa que debe existir una fuente permanente de B disponible para la planta durante todo su ciclo de crecimiento y desarrollo (Salisbury y Ross, 1994; Devlin, 1982).



## Cloro (Cl)

Las plantas absorben el cloro en forma del ion cloruro (Cl<sup>-</sup>). Este está involucrado en la apertura de los estomas y por lo tanto interviene en la turgencia de las células y ayuda al metabolismo del nitrógeno. Las plantas tienen su mecanismo de tolerancia a los excesos, acumulándose

en las vacuolas. Generalmente las aguas de riego son ricas en cloruros, por lo tanto, casi nunca es necesario hacer aplicaciones de este elemento (Salisbury y Ross, 1994; Devlin, 1982).

A manera de resumen se presentan las funciones de los nutrientes esenciales para las plantas en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Principales funciones de los nutrientes.

Nutriente	Funciones principales
<b>Componentes de compuestos orgánicos</b>	
<b>C</b>	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, ATP, NADP, clorofila, reguladores de crecimiento (p.e., IAA).
<b>H</b>	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos.
<b>O</b>	Hace parte de la estructura de carbohidratos, proteínas, lípidos, ácidos nucleicos, aceptor de electrones.
<b>N</b>	Aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila.
<b>S</b>	Sulfo-aminoácidos (cisteína y metionina), responsable de la conformación estructural y estabilidad de proteínas, coenzima A, vitaminas, responsable de aromas y sabores.
<b>P</b>	ATP, NADP, lípidos de las membranas celulares, ácidos nucleicos, fosfo-azúcares.
<b>Activadores de enzimas</b>	
<b>K</b>	Activador de ~60 enzimas. Esencial en síntesis de proteínas, responsable de la turgencia y apertura de estomas.
<b>Ca</b>	Activador de enzimas. Esencial para la permeabilidad de la membrana. Asociado con las pectinas de la pared celular.
<b>Mg</b>	Activador de enzimas y ATP, componente de la clorofila.
<b>Mn</b>	Activador de enzimas, esencial en la fotólisis del agua.
<b>Zn</b>	Cofactor de varias enzimas (dehidrogenasas, aldolasa, fosfatasa, DNA y RNA polimerasa).
<b>Ni</b>	Parte fundamental de la enzima ureasa.
<b>Agentes Redox</b>	
<b>Fe</b>	Componente de citocromos, peroxidasa y ferredoxina, en los cuales es responsable de reacciones redox.
<b>Cu</b>	Componente de la citocromo oxidasa (respiración) y plastocianina (fotosíntesis), superóxido dismutasa (radicales O <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), fenol oxidasa (síntesis de lignina), y responsable de reacciones redox.
<b>Mo</b>	Componente de la nitrato reductasa (reducción del NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) y de la nitrogenasa (reducción de N <sub>2</sub> en rizobios).
<b>Otras funciones</b>	
<b>B</b>	Crecimiento de tubo polínico, estabilidad de la estructura de la pared celular por formación de enlaces cis-diol con compuestos orgánicos.
<b>Cl</b>	Osmosis, balance de cargas y fotólisis del agua.

Fuente: Glass (1989).

## Síntomas de deficiencias

Las carencias nutricionales y su influencia en el desarrollo de la planta han sido estudiadas por varios investigadores en plantas jóvenes, cultivadas en soluciones nutritivas controladas, en las variedades Booth-8, Lula y Fortuna; a continuación se describen algunas características (Lacceuilhe *et al.*, 1968; Charpentier y Martin-Prevel, 1967; Avilán *et al.*, 1989). En la **Tabla 2**, se indica el tipo de síntoma, su ubicación y algunas causas.

**Tabla 2.** Síntomas visuales de deficiencia predominantes.

Parte afectada	Síntoma predominante	Deficiencia	Observaciones	
Tercio superior (hojas jóvenes)	Clorosis	Generalizada Intervenal	Fe Mn, Cu, Zn Color blanco; pH >6.5, exceso de P pH >6.5 exceso de P	
	Deformaciones	Hojas asimétricas	B	Más intenso en sequía, pH >7.5, muerte de meristemos, alta ramificación, hojas gruesas, venas suberizadas (corchosas)
		Hojas angostas	Zn, Mo	Mo: pH >5.0
	Entrenudos cortos		Ca, Cu, Zn	
	Necrosis		Cu Ca	Cu: Muerte descendente, plantas pequeñas Ca: Alta ramificación, frutos rajados
Tercio medio	Clorosis	Generalizada	S	Avanza a hojas jóvenes muy rápidamente
Tercio inferior hojas viejas	Clorosis	Generalizada	N	Plantas pequeñas, desarrollo retrasado.
		Intervenal	Mg	pH < 5.0, exceso de K
		Marginal (punta y bordes)	K	Rápida necrosis. Mayor susceptibilidad a plagas y enfermedades y deshidratación
	Hojas oscuras/ Manchas púrpuras		P	Plantas muy pequeñas, desarrollo muy retrasado; pobre crecimiento radical; pH <5.5

Fuente: Osorio (2012).



## Nitrógeno (N)

La deficiencia de este elemento en aguacate se manifiesta en un crecimiento y desarrollo reducido de la planta, presentando ausencia de ramificaciones laterales. Las hojas son pálidas, con pequeñas deformaciones y una clorosis característica (**Figura 1**) (Avilán *et al.*, 1989). El sistema radical es poco ramificado, con raíces más finas y más largas (Silva *et al.*, 1982; Avilán *et al.*, 1989). Otro síntoma muy marcado de la deficiencia de este elemento, es la presencia de racimos florales terminales sin brotes foliares acompañantes.



**Figura 1.** Síntoma de deficiencia de nitrógeno en hojas de aguacate  
Foto: A. Tamayo

## Fósforo (P)

Como en el caso del N, la deficiencia de P en aguacate causa una reducción en el crecimiento y desarrollo de la planta. La emisión de hojas nuevas es muy espaciada, siendo el crecimiento de las yemas terminales inhibido. Las

hojas de los árboles con deficiencia de fósforo, presentan manchas necróticas, irregulares e interveinales. La coloración verde de la planta se torna un tanto azulada, sufriendo una inclinación de 45°, debido al doblamiento de los pecíolos y base de las hojas (Avilán *et al.*, 1989).

El tamaño de la hoja es reducido y de forma redondeada. Los niveles foliares indican que la carencia de fósforo corresponde a tenores inferiores a 0,05%, siendo el nivel normal entre 0,095% y 0,13%, dependiendo de la variedad y de la saturación de otros elementos. Las raíces se tornan más gruesas y con pocas ramificaciones (Avilán *et al.*, 1989).

## Potasio (K)

La deficiencia de potasio afecta medianamente el desarrollo de las plantas, caracterizándose por unas manchas marrón-rojizas, que se inician en los bordes de las hojas (**Figura 2**) y avanzan hacia la nervadura central y que luego afectan los pecíolos, a lo largo de las nervaduras principales y secundarias, luego cubre toda la hoja (Avilán *et al.*, 1989).



**Figura 2.** Deficiencia de potasio en hojas de aguacate  
Foto: A. Tamayo

## Calcio (Ca)

Las plantas con deficiencia de calcio presentan un crecimiento lateral reducido. Las emisiones foliares son abundantes y de entrenudos cortos. Las yemas terminales de las ramas detienen su desarrollo formando rosetas de hojas lanceoladas; luego se presenta una clorosis apical que avanza por los espacios intervenales, abarcando posteriormente toda la hoja (Avilán *et al.*, 1989).

Los niveles normales de Ca en las hojas se encuentran entre 0,9 - 1,5%, en plantas con deficiencia de este elemento, los valores se encuentran en 0,05% (Avilán *et al.*, 1989). Es necesario aclarar que las deficiencias de Ca están asociadas al Mg y al K, por lo que se debe tener en cuenta además de contenido Ca, la relación Ca/Mg y la de Ca/Mg/K, para determinar la deficiencia de este elemento, ya que eventualmente tanto el Mg como el K, en altas concentraciones pueden inhibir la absorción del Ca.

## Magnesio (Mg)

El síntoma característico de la deficiencia de magnesio, es una clorosis intervenal, que se acentúa lateralmente y se presenta cerca de la nervadura central y progresa posteriormente hacia el borde de las hojas (Figura 3).



**Figura 3.** Síntomas de deficiencia de magnesio en hojas de aguacate

Foto: A. Tamayo

Los niveles adecuados en las hojas se encuentran entre 0,25 - 0,80%, siendo de un valor de <0,1% en plantas deficientes (Avilán *et al.*, 1989).

## Boro (B)

La baja presencia de boro en la planta, se presenta como una severa disminución en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que su carencia afecta órganos nuevos. Los entrenudos son más cortos y las hojas más pequeñas, presentando un necrosamiento en las nervaduras. Los meristemos terminales son inhibidos y los brotes continuos presentan una sobrebrotación. Las plantas deficientes presentan un nivel  $\leq 11$  mg.kg<sup>-1</sup> en las hojas. Las hojas nuevas presentan un aumento del tenor de potasio y una disminución notable del tenor de calcio (Avilán *et al.*, 1989). Los frutos se deforman y en las ramas se presentan malformaciones en forma de agallas.

## Manganeso (Mn)

La deficiencia de este elemento es mucho más tardía que el resto de las deficiencias. Se presenta como una clorosis que se inicia desde la base de la hoja, hacia las nervaduras secundarias y principal. Así, una banda estrecha es amarilla y el resto de ella verde (Figura 4). Los niveles foliares encontrados en las plantas deficientes estuvieron entre 8 - 13 mg.kg<sup>-1</sup> (Avilán *et al.*, 1989); se cree que un nivel crítico del elemento estaría alrededor de 16 mg.kg<sup>-1</sup> (Avilán *et al.*, 1989).

## Azufre (S)

La deficiencia de S se manifiesta por una clorosis acentuada en las hojas nuevas, tanto en el limbo como en el pecíolo, siendo muy marcada hacia los extremos de las hojas (Avilán *et al.*, 1989).



**Figura 4.** Síntomas de deficiencia de manganeso en hojas de aguacate

Foto: A. Tamayo

## Hierro (Fe)

La deficiencia de Fe se manifiesta a través de un color verde pálido en las hojas jóvenes, siendo la base de las mismas más verdes (**Figura 5**). Las nervaduras conservan su coloración verde normal; en etapas avanzadas, las hojas se tornan cloróticas. Los niveles foliares para las plantas deficientes están entre  $63 - 70 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Avilán *et al.*, 1989). Se presenta un aumento del K y del Ca con disminución del tenor del Mg (Goodall *et al.*, 1965; Avilán *et al.*, 1989).



**Figura 5.** Síntomas de deficiencia de hierro en hojas de aguacate

Foto: A. Tamayo

## Zinc (Zn)

La deficiencia de Zn se caracteriza por una clorosis en las hojas jóvenes, no observándose una deformación en las mismas, pero su tamaño es menor al normal. En los ramos terminales se presenta un acortamiento de los entrenudos, además de la formación de rosetas enteramente cloróticas; el resto del árbol presenta una coloración normal. En los frutos la deficiencia se manifiesta en crecimiento reducido y de forma redondeada (Avilán *et al.*, 1989).

## Cobre (Cu)

La carencia de cobre afecta los órganos jóvenes, en particular los meristemas terminales. Los extremos de las hojas se necrosan y se enroscan; posteriormente las hojas caen prematuramente, quedando desnudas las extremidades de las ramas principales y secundarias (Avilán *et al.*, 1989)

## Antagonismos y sinergismos

A pesar del efecto benéfico de los fertilizantes, es común observar interacciones iónicas, es decir, la influencia sobre la intensificación o depresión de un ión en un tejido. Algunos reportes indican que la adición de cantidades grandes de N al cultivo induce deficiencias de K, Cu, Zn, B y reducen la concentración de Mg e incrementan la de Fe y Mn en hojas. En cambio, aplicaciones altas de P incrementan la concentración de N, Mg y Mn y disminuyen la de K, Zn, Cu y B; así mismo, se considera que el exceso de Ca puede inducir deficiencias de K, Fe y Mn en las hojas.

## Toma de muestras de suelo y foliar

Son muchos los factores que afectan el rendimiento de los cultivos, entre los cuales ocupa un lugar importante, la disponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas; cuando estos nutrientes no están en cantidades adecuadas hay necesidad de agregar fertilizantes químicos, orgánicos y/o enmiendas para suplir la necesidades de la planta. El análisis químico del suelo, dispuesto para el establecimiento del cultivo refleja el estado relativo de disponibilidad en el suelo y permite diseñar recomendaciones que buscan eliminar las deficiencias de nutrientes en el suelo.

El suelo no es una masa homogénea, sino más bien compleja y heterogénea, que presenta múltiples variaciones. Por ello, en la toma de la muestra, debe examinarse el área a ser estudiada, en relación a la homogeneidad, en cuanto topografía, color y tipo de suelo, textura, grado de erosión, manejos culturales anteriores, cobertura vegetal, drenaje y otras características que pueden servir de guía para diferenciar las unidades de muestreo y de muestras entre sí, para una posterior recomendación (Avilán *et al.*, 1989). Lo anterior permite que se definan unidades de mapeo por lotes (Lote 1, Lote 2, Lote 3, etc.).

El esquema más sencillo y el más usado, consiste en tomar submuestras al azar en forma aleatoria en todo el terreno. Para eso se puede seguir un recorrido en "zig-zag". En cada cambio de dirección se toma una submuestra (**Figura 6**).

También se pueden tomar muestras en trayectos diagonales en forma de "X" (**Figura 7**), en los cuales se escogen las plantas en forma sistemática (un



**Figura 6.** Recorrido en "zig-zag" a través del lote de aguacate. En cada punto se toma una submuestra

Foto: W. Osorio



**Figura 7.** Recorrido en forma de "X", siguiendo dos trayectos diagonales

Foto: J. Bernal

árbol cada cierto número de árboles), dependiendo del tamaño del lote (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998).

Se puede usar cualquier otra forma sistemática de muestreo, tratando de cubrir adecuadamente el campo, acomodándose a las condiciones particulares de cada huerto (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998). En cada árbol seleccionado se eligen de dos a cuatro sitios equidistantes de muestreo, que se ubican debajo del árbol, en la zona comprendida entre la mitad de la copa y el perímetro de la misma, como se indica en la **Figura 8** (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998; Avilán *et al.*, 1986).



**Figura 8.** Sitios (ver flechas) donde se toman las submuestras de cada árbol

Foto: A. Tamayo

Luego se mezclan las submuestras, para obtener una muestra compuesta que irá al laboratorio. Por ser el aguacate un cultivo perenne, las exigencias de nutrimentos para satisfacer sus procesos fisiológicos, como crecimiento vegetativo, floración y fructificación, varían de acuerdo con la edad de la planta; por tal motivo, es necesario hacer muestreos de suelos periódicamente, a través de la vida del cultivo.

Las muestras para análisis de suelo en huertos establecidos se deben tomar de lotes uniformes con respecto al tipo de suelo, edad de la planta, manejo y nivel de producción. Estas propiedades delimitan la unidad de muestreo. Las muestras se deben tomar de árboles seleccionados, de modo que se pueda obtener una muestra representativa del campo (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998). Con relación a la profundidad de muestreo, éste se debe realizar tomando en consideración las características de la distribución del sistema radical del aguacatero (Avilán *et al.*, 1989).

Se debe efectuar un muestreo superficial (0 a 20 cm) y uno profundo (20 a 50 cm) siendo este muy importante para verificar si a esta profundidad hay o no impedimentos físicos para el crecimiento

de la raíz, los cuales afectan su desarrollo, modificando su distribución en el perfil del suelo, aspecto de relevante importancia, por cuanto va a determinar la localización del fertilizante y otras prácticas culturales (Avilán *et al.*, 1989). Además, el muestreo a una profundidad de 20 a 50 cm puede ayudar en el diagnóstico, particularmente en ciertos casos, en los cuales se sospecha que existen problemas de acidez o acumulación de sales en la subsuperficie (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998).

Las submuestras de cada árbol se recolectan en un recipiente plástico limpio, se mezclan completamente y de esta mezcla se retira una porción aproximada de un kg de suelo, que se envía al laboratorio.

Para un buen diagnóstico, además del análisis del suelo, que da información sobre el contenido de los elementos disponibles en él, así como de ciertas características que pueden afectar el comportamiento de los fertilizantes, se debe realizar un análisis foliar, que dirá lo que la planta está asimilando (Avilán *et al.* 1989).

Las muestras para los análisis foliares se deben tomar también con los mismos criterios indicados anteriormente para las muestras de suelos, siguiendo el mismo muestreo sistemático discutido anteriormente (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998).

En los árboles seleccionados, la muestra foliar se debe tomar a una altura media de 1,5 a 2 m, alrededor de la copa (**Figura 9**), tomando seis a ocho hojas de cuatro meses de edad, en ramas jóvenes que no estén en producción (**Figura 10**) (Avilán, 1989).



**Figura 9.** Zona de muestreo para análisis foliar  
Foto: J. Bernal



**Figura 10.** Hojas a muestrear  
Foto: J. Bernal

El muestreo completo debe provenir de por lo menos 25 árboles y contener más de 100 hojas por cada 2,5 hectáreas (Avilán *et al.*, 1989). Algunos autores señalan que, además de la edad de la hoja, tipo de retoño, posición en la planta y época de muestreo, se debe tener en consideración el tipo de patrón y la incidencia de la enfermedad, causada por *Phytophthora cinnamomi*, puesto que estos factores también afectan acentuadamente la concentración de los elementos en las plantas (Lahav y Kadman, 1980; Avilán *et al.*, 1989). Se ha encontrado que los árboles injertados sobre patrones de la raza Guatemalteca son más susceptibles a la clorosis férrica que los injertados en patrones de raza Mexicana; en Israel, añaden que los de la raza Antillana son más resistentes a la clorosis férrica que los de las razas Guatemalteca y Mexicana. En relación a la incidencia de la enfermedad, señalan que en las plantas infestadas, las hojas muestran un incremento en la concentración de nitrógeno, sodio, cloro y cobre y una disminución en fósforo, hierro y manganeso, en comparación a la concentración observada en las hojas de plantas sanas (Avilán *et al.*, 1989).

La aplicación de nutrientes en aguacate debe estar basada en los análisis de suelo y en los análisis foliares. Esto ayuda a obtener el mayor beneficio agronómico y económico de la aplicación de fertilizantes. Los análisis de suelo y foliares deben estar acompañados, en lo posible, con registros rigurosos de producción.

Esto permite ajustar las dosis de nutrientes utilizadas a través de los años. La correlación entre el contenido foliar de nutrientes y el rendimiento, permite determinar las concentraciones óptimas de nutrientes en las hojas, que en la mayoría de los casos cambian de región a región y de variedad a variedad (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998).

Las concentraciones de los nutrientes en las hojas sirven de referencia para ajustar los niveles de producción a través de los años. La **Tabla 3**, presenta los rangos de suficiencia generales de la concentración foliar de nutrientes en aguacate. La extracción de nutrientes del campo en la fruta cosechada, puede ser un buen parámetro a utilizar, para determinar las dosis de nutrientes a aplicar (**Tabla 4**) (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998).



**Tabla 3.** Niveles nutricionales en las hojas del aguacate.

Nutriente	Deficiente	Adecuado	Excesivo
<b>Macronutrientes</b>			
<b>Nitrógeno</b>	< 1,60	1,60 - 2,00	> 2,00
<b>Fósforo</b>	< 0,05	0,08 - 0,25	> 0,30
<b>Potasio</b>	< 0,35	0,75 - 2,00	> 3,00
<b>Calcio</b>	< 0,50	1,00 - 3,00	> 4,00
<b>Magnesio</b>	< 0,15	0,25 - 0,80	> 1,00
<b>Azufre</b>	< 0,05	0,20 - 0,60	> 1,00
<b>Micronutrientes</b>			
<b>Boro</b>	< 50	50 - 100	> 100
<b>Cobre</b>	< 5	5 - 50	> 50
<b>Hierro</b>	< 50	50 - 200	--
<b>Manganeso</b>	< 30	30 - 200	> 500
<b>Molibdeno</b>	< 0,05	0,05 - 1,0	--
<b>Zinc</b>	< 30	30 - 150	> 300

Fuente: Chapman, 1973; Lahav and Kadman, 1980.

**Tabla 4.** Extracción de nutrientes en fruta fresca de aguacate, de árboles en plena producción.

Nutriente	kg/tonelada de fruta fresca
<b>Nitrógeno</b>	3,152
<b>Fósforo</b>	0,736
<b>Potasio</b>	3,560
<b>Calcio</b>	0,547
<b>Magnesio</b>	0,474
<b>Azufre</b>	0,183
<b>Boro</b>	3,7
<b>Cobre</b>	3,0
<b>Hierro</b>	7,4
<b>Manganeso</b>	2,0
<b>Molibdeno</b>	0,02
<b>Zinc</b>	4,5

Fuente: Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998.



## Remoción de nutrientes en aguacate

Por muchos años la rentabilidad de la producción de aguacate se midió en términos de producción total de fruta por árbol o por hectárea. Sin embargo, este parámetro ha perdido importancia debido a la globalización del mercado. Al momento, factores como fecha de cosecha, tamaño y calidad de fruta (tanto externa como interna) son considerados como los principales factores en el exitoso mercadeo del aguacate. Para determinar el adecuado manejo de la nutrición, que sostenga una producción de fruta del tamaño y calidad requeridos, es necesario tener información de la remoción de nutrientes del cultivo de aguacate en cada región (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2001).

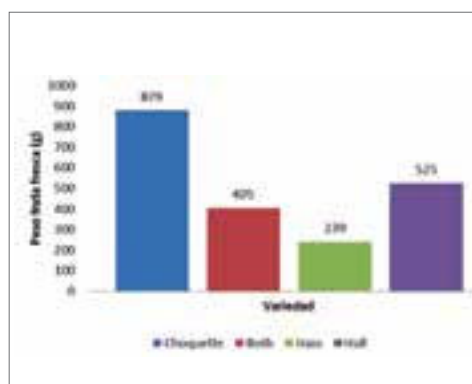
Tradicionalmente, los huertos de aguacate han utilizado poco fertilizante, basándose en la idea preconcebida de que el árbol está adaptado a suelos de media a baja fertilidad. Debido al alto contenido de aceite de la fruta (hasta 20%), la producción de rendimientos altos de aguacate requiere de un adecuado suplemento de nutrientes, especialmente potasio (K). En México, los dueños de huertos viejos argumentan que hace 30 o 40 años era común el obtener 20 t.ha<sup>-1</sup> de fruta sin fertilización; sin embargo, hoy esto es imposible debido a que la fertilidad nativa del suelo ha declinado significativamente (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2001).

De acuerdo con Salazar (2002) los rendimientos promedio de aguacate en los huertos mexicanos variaron de 4 a 10 t.ha<sup>-1</sup>/año. En la mayoría de los huertos, las dosis de fertilización utilizadas varían de 0 a 100 kg de nitrógeno (N) y de 0 a 115 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O. La evidencia acumulada indica que los huertos manejados

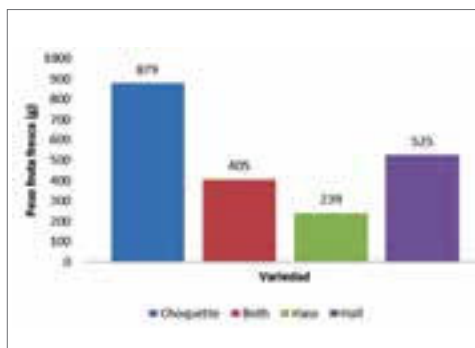
científicamente pueden fácilmente producir rendimientos mayores a 25 t.ha<sup>-1</sup>/año, minimizando al mismo tiempo el problema de rendimientos bajos al año siguiente de una buena cosecha. A pesar de las mejoras en el manejo, no existe información local sobre la exportación de nutrientes de los huertos de aguacate (Salazar-García 2002).

El peso fresco de la fruta es un parámetro común para estimar el rendimiento y la rentabilidad de un huerto de aguacate; sin embargo, esto no significa que la fruta más grande o una abundante cosecha de frutas grandes, extraiga más nutrientes del suelo. La información de las diferencias en peso fresco de la fruta entre cultivares de aguacate se presenta en la **Figura 12**, de acuerdo con un trabajo realizado por Salazar-García *et al.* (2006). La fruta de la variedad Hass (239 g/fruta) puede ser considerada pequeña comparada con Booth-8, Hall y Choquette. El contenido de materia seca presentó un comportamiento diferente que el peso fresco (**Figura 11**) (**Figura 12**).

La fruta de Hass tuvo el mayor contenido de materia seca (23.2%) comparado con otros cultivares. Este estudio demostró que el tamaño de la fruta no está directamente relacionado con la remoción total de nutrientes.



**Figura 11.** Promedio de peso fresco de cuatro cultivares de aguacate (Salazar-García *et al.*, 2006).



**Figura 12.** Promedio del contenido de materia seca en cuatro cultivares de aguacate (Salazar-García et al., 2006).

La remoción de nutrientes fue mucho mayor en la fruta pequeña de mayor contenido de materia seca como la variedad Hass.

La materia seca está compuesta de carbono (C) y otros nutrientes acumulados durante el crecimiento y desarrollo de la fruta. Se usan también nutrientes en la síntesis de proteínas y aceite, ambos en altas cantidades en la fruta del cultivar Hass. Por esta razón, se espera que fruta con mayor contenido de materia seca y aceite requiera más nutrientes.

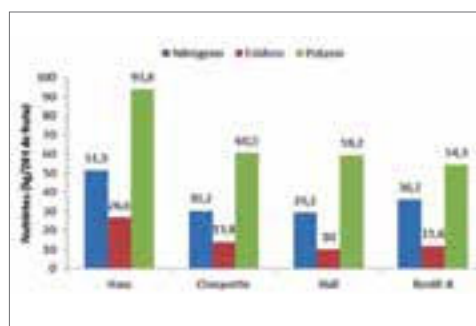
A pesar de que se han reportado muchos casos de rendimientos más altos en México, los cálculos de costo energético han establecido que el potencial de rendimiento del aguacate Hass es de 32.5 t.ha<sup>-1</sup> (Wolstenholme, 1986). En este estudio, los cálculos de remoción de nutrientes se basaron en un rendimiento de fruta de 20 t.ha<sup>-1</sup>. Es importante mencionar que los rendimientos de huertos



Choquette (con 100 árboles/ha) pueden ser mayores a 60 t.ha<sup>-1</sup>. Por esta razón, la remoción de nutrientes podría ser más alta si se calculan con estos rendimientos. Sin embargo, no se han conducido estudios para determinar el contenido de nutrientes para rendimientos récord en este cultivar.

La extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate, en orden descendente sería la siguiente: K>N>P>Ca>Mg>S. Algunos autores han demostrado que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre cultivares de aguacate. En un estudio realizado por Salazar-García y Lazcano-Ferrat (2002), en México, la cantidad de N, P y K removidos por el cultivar Hass fue la más alta (Figura 13). Una producción de 20 t.ha<sup>-1</sup> removió 52, 21 y 94 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente. La remoción de K por la fruta del cultivar Hass fue 70, 77 y 39% más alta que los cultivares Choquette, Hall y Booth-8, respectivamente.

La exportación de magnesio, azufre, zinc, boro y molibdeno por la fruta, fue mayor en el cultivar Hass (Tabla 3). La remoción de nutrientes de los cultivares Choquette, Booth-8 y Hall fueron similares, sin embargo, el cultivar Hall tuvo una menor remoción de varios nutrientes en comparación con Choquette o Booth-8 (Tabla 5).



**Figura 13.** Remoción de nitrógeno, fósforo y potasio en 20 toneladas de fruta, en cuatro variedades de aguacate (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2001).

**Tabla 5.** Remoción de nutrientes de acuerdo con la producción de fruta fresca de varios cultivares de aguacate manejado sin riego en Nayarit, México.

Nutriente	Remoción de Nutrientes							
	g/100 kg de fruta fresca				kg/20 t de fruta fresca			
	Hass	Choquette	Hall	Booth-8	Hass	Choquette	Hall	Booth-8
<b>N</b>	257,0	151,0	145,0	185,0	51,5	30,1	29,1	36,9
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	103,0	69,2	49,9	58,2	20,6	13,0	10,0	11,6
<b>K<sub>2</sub>O</b>	469,0	302,0	296,0	271,0	93,8	60,5	59,2	54,3
<b>Ca<sup>1</sup></b>	8,4	8,7	6,5	10,4	1,7	1,7	1,3	2,1
<b>Mg</b>	29,5	16,3	16,5	22,3	5,9	3,3	3,3	4,5
<b>S</b>	34,5	19,2	18,4	22,6	6,9	3,8	3,7	4,5
<b>Cl</b>	12,0	7,3	0,2	7,4	2,4	1,5	0,04	1,5
<b>Fe<sup>1</sup></b>	0,6	1,0	0,4	0,7	0,12	0,2	0,08	0,14
<b>Cu<sup>1</sup></b>	0,2	0,1	0,2	0,2	0,04	0,02	0,04	0,04
<b>Mn<sup>1</sup></b>	0,1	0,1	0,01	0,07	0,02	0,02	0,002	0,014
<b>Zn</b>	0,4	0,3	0,3	0,2	0,08	0,06	0,06	0,04
<b>B</b>	0,4	0,2	0,2	0,3	0,08	0,04	0,04	0,06
<b>Mo</b>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,004	0,002	0,002	0,002
<b>Na<sup>1</sup></b>	1,0	0,6	0,8	1,0	0,2	0,12	0,16	0,2
<b>Al<sup>1</sup></b>	0,3	0,3	0,2	0,4	0,06	0,06	0,04	0,08

<sup>1</sup> Ca: calcio; Cl: cloro; Fe: hierro; Cu: cobre; Mn: manganeso; Na: sodio; Al: aluminio

Fuente: Salazar-García et al., 2006.

Los resultados de este estudio demuestran que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. Los productores deben poner atención al potencial de rendimiento de cada cultivar y a la remoción total de nutrientes y deben asegurar que se suplemente suficiente N y K, para lograr el crecimiento y calidad deseados. Se debe monitorear que el contenido de nutrientes en el suelo sea suficiente y si es necesario se deben hacer aplicaciones de fertilizantes al suelo o vía foliar (Salazar-García y Lazcano-Ferrat, 2001).

Los programas de fertilización balanceada, específicos para cada cultivar, son esenciales para mejorar el rendimiento

y la calidad de la fruta. Un programa de fertilización adecuado del aguacate debe incluir el análisis del contenido de nutrientes en la fruta y los análisis de suelo y foliar para estimar de mejor manera los requerimientos de fertilización del huerto.

## Exigencias nutricionales

La fertilización es una práctica importante de manejo en aguacate, que tiene como objetivo aumentar la concentración de nutrientes en la solución del suelo, cuando no existe suficiente cantidad de éstos, para satisfacer las demandas nutrimentales del cultivo. Debido a que el sistema radical del aguacatero no es muy extenso y carece de pelos radicales,



es necesaria la presencia en el suelo de una cantidad elevada de nutrimentos de fácil disponibilidad. Los estudios llevados a cabo en diferentes regiones productoras del mundo, indican que el aguacatero responde favorablemente a la fertilización, especialmente a la nitrogenada.

En La Florida (EE.UU.) se determinó que la aplicación de nitrógeno tenía gran influencia en el crecimiento del diámetro del tronco, de la producción, tamaño de los frutos, condición de la planta y en general, del tamaño del árbol (Lynch, 1954). Algunos autores consideran que se debe establecer una relación nitrógeno-fósforo-potasio (N, P, K), haciendo el N igual a la unidad ( $n=1$ ) de 1:0,5:1. Altos o bajos niveles de potasio no favorecen la producción y un nivel alto de fósforo tiende a disminuir los rendimientos (Avilán *et al.*, 1989). Trabajos realizados en suelos aluviales, ácidos, con el cultivar Fuerte, aplicando niveles de nitrógeno que variaban de 0 a 1 kg por planta, señalan que, a pesar de la extrema variabilidad característica del aguacatero, se puede concluir que la máxima producción ocurre cuando existe un moderado nivel de nitrógeno en las hojas (1,6 - 2%) y que la producción se reduce por encima y por debajo de este nivel (Embleton *et al.*, 1959; Avilán *et al.*, 1989).

En Venezuela, en suelos del orden inceptisol, con una moderada a baja suplencia de nitrógeno y fósforo y baja de potasio, se encontró una respuesta significativa sobre el rendimiento de la interacción N-K. La aplicación de 1.200 g/árbol de N y 1.600 g/árbol de K, representa un incremento del beneficio económico sobre la parcela testigo, del orden del 67%, en la variedad Pollock, con 6 años de edad (Sergent, 1979; Avilán *et al.*, 1989).

## Sugerencias generales de fertilización

Tomando como base la edad fisiológica y la producción por planta (cajas de frutos/planta), Malavolta y Pérez citados por Avilán y Leal (1984), sugieren un plan de fertilización como se muestra en las **Tablas 6 y 7**. La aplicación de los fertilizantes debe ser fraccionada en tres o cuatro veces al año.

**Tabla 6.** Plan de fertilización en árboles jóvenes de aguacate (menores de 4 años).

Edad planta (años)	g/planta		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	40	0	20
2	80	40	20
3	120	60	60

Fuente: Avilán y Leal (1984).

**Tabla 7.** Plan de fertilización en árboles de aguacate, en producción (mayores de 5 años).

Nivel de potasio en el suelo	g/caja de frutos		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Bajo	100	50	100
Medio	100	50	50

Fuente: Avilán y Leal (1984).

Empleando el criterio de fertilización por sustitución, Avilán *et al.* (1978) recomiendan aplicar 200, 100 y 200 g/planta de N-P-K, por cada 60 kg de fruta fresca producida, respectivamente.

En el caso de no tener acceso a análisis foliares y/o de suelos, una buena práctica es la restituir al suelo los nutrientes extraídos por la cosecha. Una recomendación general es la de aplicar a cada planta 660 g de N, 320 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 660 K<sub>2</sub>O por cada 100 kg de fruta producida por árbol.

Es aconsejable fraccionar la aplicación de nutrientes de la siguiente forma: aplicar una tercera parte del N y todo el P y K antes de la floración, el segundo tercio del N, cuatro meses más tarde (inicio de las lluvias) y el tercio final de N, cuatro meses después. En la Tabla 8, se muestra una recomendación de fertilización, en árboles de aguacate en producción.

**Tabla 8.** Recomendación por fertilizante en árboles en producción, para una cosecha de 10 t/fruta fresca/ha.

Nutrientes	Fertilizante (kg/ha/año)	Fertilizante (g/pta/año)
N (urea)	140	1.400 - 1.600
P (superfosfato triple)	40	400-600
K (cloruro de potasio)	106	1.200-1.400
Ca, Mg		500-600

El adecuado manejo de la fertilización del aguacate requiere el apoyo de los parámetros presentados anteriormente en la **Tabla 1**. Los resultados de los análisis foliares se comparan con los de esta Tabla, para tener una idea clara del estado nutricional de la planta. En este caso, es también importante el análisis de suelo, para decidir cuáles son las dosis de nutrientes a aplicar.

En realidad, lo que se busca es aplicar nutrientes para mantener la concentración foliar adecuada, condición que a su vez garantiza rendimientos altos, si se manejan adecuadamente los otros factores de la producción. Usando estos conceptos se puede fertilizar de acuerdo a la edad de la planta como se indica en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.** Fertilización del aguacate de acuerdo a la edad de la planta.

Edad de la planta (años)	g/árbol/año		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
A la siembra	300	100 - 200	200 - 300
2	600	200 - 600	200 - 300
3	800	300 - 800	200 - 600
4	1.000	300 - 800	300 - 800
5	1.500	400 - 1.200	400 - 1.200
6	1.800	500 - 1.500	400 - 1.200
7 o más	2.000	500 - 1.500	600 - 1.400

Fuente: Avilán y Leal (1984).

Las cantidades de P y K a aplicar dependen de la cantidad de estos nutrientes presentes en el suelo, de acuerdo con el análisis y su porcentaje en las hojas, de acuerdo al análisis foliar. Cuando el contenido es bajo, se utilizarán las dosis altas y viceversa.

Se estima que los nutrientes en los frutos son un tercio o más de las necesidades totales de la planta. Los niveles se deben ajustar de acuerdo a los coeficientes de eficiencia de los nutrientes aplicados a los fertilizantes: urea 50%, 15% para el fósforo y 60% para el cloruro de potasio (Hiroce *et al.*, 1979).





## Zona de aplicación del fertilizante

La localización del fertilizante alrededor de la planta de aguacate se debe hacer considerando la ubicación de la mayor cantidad de raíces activas. Esto asegura el eficiente aprovechamiento de los fertilizantes aplicados. Cuando las plantas están muy jóvenes las raíces están muy cercanas y el fertilizante se debe aplicar en la cercanía de la raíz (**Figura 14**). Para evitar daños a la raíz, se recomienda aplicar dosis bajas pero más frecuentes, en vez de dosis altas muy espaciadas en el tiempo. La alta concentración de sales puede causar toxicidad a las raíces.



**Figura 14.** Aplicación de fertilizantes alrededor de plántulas recién trasplantadas.

Foto: A. Tamayo

Cuando se trata de árboles en producción (>4 años) las raíces están distribuidas en la zona de plateo y la fertilización se puede hacer en esta zona, aunque algunos recomiendan aplicar entre la mitad del radio de la copa y la proyección externa de la misma (**Figura 15**) (Lazcano-Ferrat y Espinoza, 1998; Avilán *et al.*, 1986).

El método de aplicación del fertilizante más recomendable en el cultivo del aguacate, es al voleo (dentro de la zona de aplicación), en el cual se incorpora el abono, para promocionar un buen



**Figura 15.** Zona de aplicación de fertilizantes en árboles en producción.

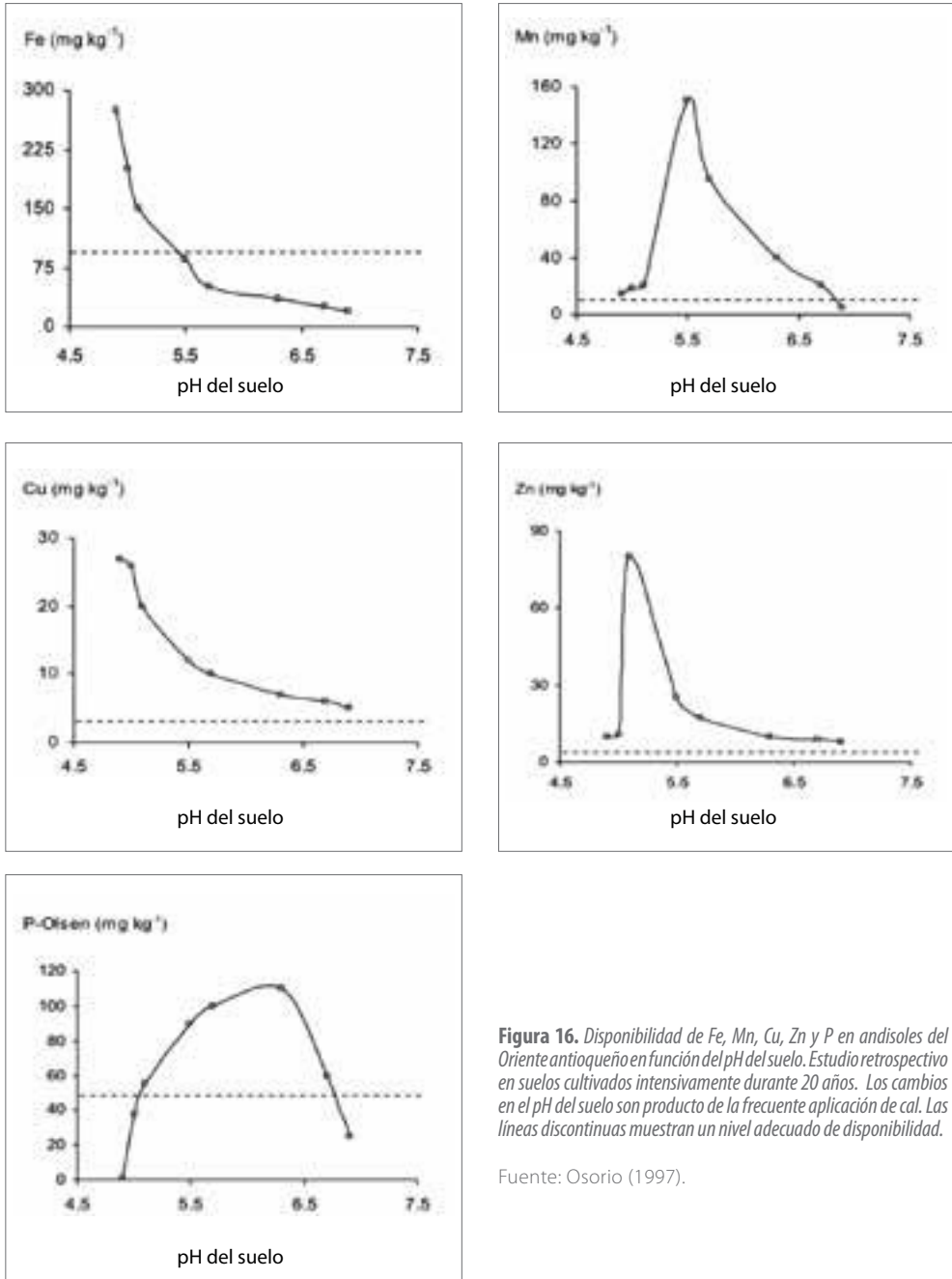
Foto: J. Bernal

y uniforme desarrollo de raíces; este método propicia la extensión de raíces superficiales en toda el área de influencia de la fertilización.

## Encalamiento

Dada la condición ácida y la baja disponibilidad de Ca y Mg de muchos de los suelos cultivados con aguacate, particularmente en la Zona Andina colombiana, la aplicación de cal es una práctica muy común. Varios autores coinciden en afirmar que el rango adecuado de pH del suelo para el aguacate está entre 5,5 - 6,5. Por razones de disponibilidad de nutrientes, particularmente P y elementos menores y de la eficiencia de la fertilización nitrogenada (con amonio en particular), se recomienda un rango aún más estrecho entre 5,5 y 6,0 (**Figura 16**).





**Figura 16.** Disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y P en andisoles del Oriente antioqueño en función del pH del suelo. Estudio retrospectivo en suelos cultivados intensivamente durante 20 años. Los cambios en el pH del suelo son producto de la frecuente aplicación de cal. Las líneas discontinuas muestran un nivel adecuado de disponibilidad.

Fuente: Osorio (1997).

Desafortunadamente, es común encontrar que los agricultores usan inadecuadamente la cal. En algunos casos por aplicaciones insuficientes, en otros casos por aplicaciones excesivas y en otros casos por una inadecuada escogencia del tipo de cal [cal agrícola  $-\text{CaCO}_3$ , cal viva  $-\text{CaO}$ , cal hidratada  $-\text{Ca}(\text{OH})_2$ , cal dolomita  $-(\text{Ca},\text{Mg})\text{CO}_3$ ].



En un muestreo realizado por Osorio *et al.*, (2012) y Serna *et al.*, (2012) encontraron que en huertos de aguacate del Oriente y Norte antioqueño, el 34,3% de las muestras ( $n=70$ ) presentaban valores de  $\text{pH} < 5,5$ , 30% de las muestras de suelos tenían  $\text{pH} > 6,3$  (algunas alcanzaron valores tan altos como 7,1) y sólo un 35,7% exhibían un  $\text{pH}$  adecuado. En el primer caso ( $\text{pH} < 5,5$ ) se esperan deficiencias de Ca, Mg, P y Mo y altos niveles de Al, que es potencialmente tóxico para las plantas. En el segundo caso ( $\text{pH} 6,3 - 7,1$ ), es posible encontrar una baja disponibilidad de Fe, Mn, Cu, Zn y P y menor disponibilidad de B (Figura 17). Para evitar los excesos de cal se debe usar un análisis de suelo que indique el valor del  $\text{pH}$  y los contenidos de Ca, Mg y Al intercambiables. Aunque no existen niveles críticos de estos elementos, establecidos experimentalmente para huertos de aguacate, los datos observados en huertos sanos y altamente productivos, sugieren que se pueden manejar tentativamente valores de Ca intercambiable de  $4,0 - 6,0 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ , mientras que los valores de Mg pueden estar entre  $1,5 - 2,5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Para aplicar ambos elementos (Ca y Mg) para lo cual se puede usar, por ejemplo, cal dolomita.

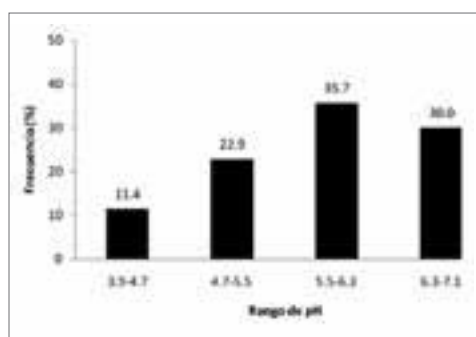


Figura 17. Frecuencia relativa de valores del  $\text{pH}$  del suelo de huertos de aguacate del Norte y Oriente de Antioquia (Osorio *et al.*, 2012).

Otra alternativa para definir la cantidad de cal a aplicar es a través del uso de la incubación con cal. En este método

pequeñas porciones de suelo se someten a cantidades crecientes de cal y luego de un periodo de incubación de 15 - 20 días (a temperatura ambiente y con suficiente humedad -capacidad de campo-) se mide el  $\text{pH}$  del suelo (1:1) (Uchida y Hue, 2000). La cantidad a aplicar se escoge en función de la regresión entre la cantidad de cal aplicada y el  $\text{pH}$  del suelo deseado. En el caso del suelo de la Figura 14, la cantidad de cal dolomita ( $\text{CaCO}_3$ : 50%,  $\text{MgCO}_3$ : 50%) requerida para aumentar el  $\text{pH}$  de suelo de 5,1 a 5,5 en un zona de ploteo de radio 0,5 m será de 0,5 kg y en un ploteo de 1 m de radio será de 2,2 kg; en ambos casos se considera una profundidad de 20 cm a la cual se debe aplicar la incorporar la cal.

Este método permite tener cierto control sobre los efectos de la aplicación de la cal. Las cantidades de cal dolomita arriba calculadas están muy por debajo de las frecuentes aplicaciones que se hacen al trasplantar las plántulas de aguacate y que fluctúan entre 5 - 10 kg/sitio, lo cual por supuesto, eleva innecesariamente el  $\text{pH}$ , genera potenciales deficiencias de nutrientes, que se corregirán aplicando más fertilizante; el sobre-encalamiento no aumenta el rendimiento pero si los costos de producción (Figura 18).

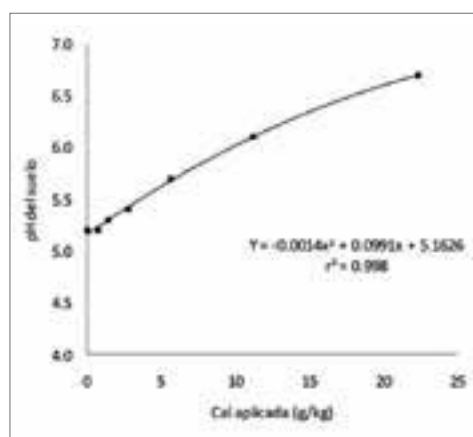


Figura 18.  $\text{pH}$  del suelo en función de la cantidad de cal aplicada medida luego de incubar la muestras del suelo por 20 días (Osorio *et al.*, 2012).

## Fertilización con fósforo

Como se mencionó anteriormente los suelos comúnmente exhiben baja disponibilidad de P para las plantas, de ahí que sea necesaria la adición de fertilizantes fosfóricos solubles para mejorar la disponibilidad del nutriente en el suelo y así satisfacer los requerimientos de las plantas cultivadas. Montoya y Osorio (2009) realizaron un experimento en el cual aplicaron cantidades crecientes de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  a un Andisol y evaluaron la respuesta de plántulas de aguacate cv. Villagorgona y encontraron que las plantas de aguacate mejoraron su crecimiento sólo cuando la concentración de P soluble en el suelo alcanzó un concentración de 0,2 mg/l (Figura 19).

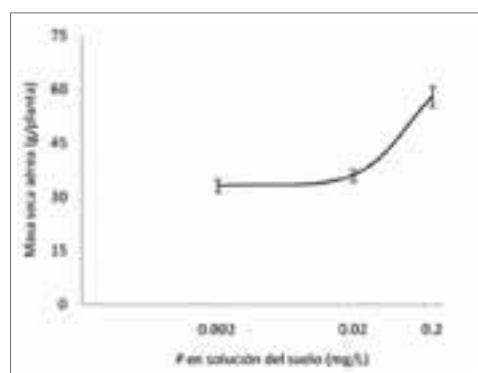


Figura 19. Efecto de la concentración de P en la solución del suelo en la masa seca de plántulas de aguacate (Montoya y Osorio, 2009).

La cantidad requerida para obtener tal concentración de P en la solución del suelo se puede determinar a través de isotermas de adsorción de P (Fox y Kamprath, 1970). Esto consiste en adicionar una fuente de P soluble (p.e.,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ) y luego de un período de incubación de 6 días se evalúa la cantidad de P que permanece en forma soluble y la cantidad que queda adsorbida. Isotermas de adsorción de P se pueden observar en la Figura 20, para tres suelos de Colombia (un Andisol,

un Oxisol y un Mollisol). Para obtener la concentración de P en la solución del suelo de 0,2 mg/l es necesario aplicar P a razón de 1.658, 352 y 65 mg.kg<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente. Como es de esperarse el requerimiento de P en el Andisol fue mucho más alto y fue seguido por el Oxisol. Si se considera la fertilización fosfórica requerida para el establecimiento de una plantación de aguacate en estos suelos, las cantidades de, por ejemplo, superfosfato triple (0-44-0) a aplicar serían de 159, 56 y 11,4 kg/sitio (para los cálculos se consideraron los valores de densidad aparente de cada suelo= 0,6, 1,0 y 1,1 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente; una profundidad de 20 cm y un diámetro inicial del plateo de 1 m) (Figura 20) (Osorio, 2011).

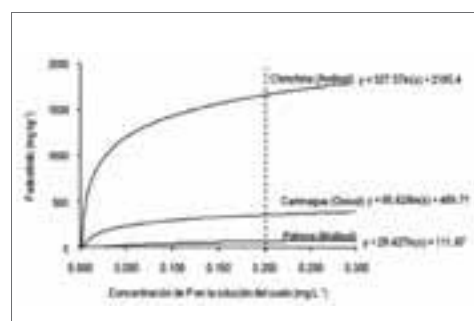
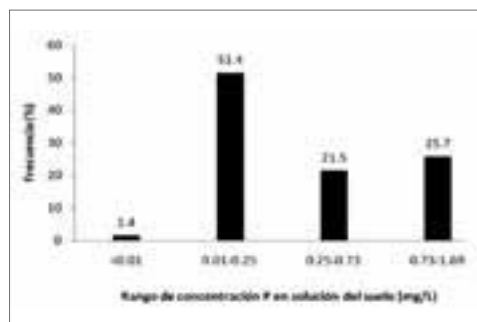


Figura 20. Isotermas de adsorción de P de tres suelos de Colombia. La línea discontinua indica la concentración de P soluble de 0,2 mg/l (Osorio, 2011).

Desafortunadamente los productores de aguacate tienden a aplicar grandes cantidades de fertilizantes fosfóricos sin recurrir a estas técnicas y caen en el problema de la sobrefertilización. Excesos de P son muy comunes en los huertos de aguacate. En el mismo estudio de Osorio et al. (2012) encontraron en huertos de aguacate concentraciones excesivamente altas de P soluble en casi la mitad de la muestras analizadas (47%), mientras que un 51,4% estuvo en un rango de P medio a adecuado y sólo un 1,4% de las muestras presentaron niveles muy bajos (Figura 21).



Tales excesos de fosfato en la solución del suelo no mejoran el crecimiento de las plantas, al contrario lo pueden disminuir ya que pueden reducir la disponibilidad de elementos menores catiónicos (Fe, Mn, Cu y Zn) en el suelo. Esto último tiende a ser manejado a través de la aplicación de fertilizantes, con lo que el costo de producción aumenta, pero no se obtienen más beneficios.



**Figura 21.** Frecuencia relativa de valores de concentración de P en la solución del suelo agrupados por rango. Suelos del Oriente y Norte de Antioquia cultivados con aguacate.

Fuente: Osorio *et al.* (2012).

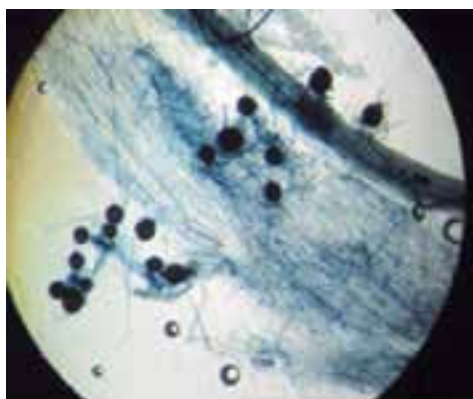
Concentraciones altas de P soluble tienen riesgos ambientales ya que el P soluble puede pasar a aguas corrientes destinadas para consumo animal o humano, a través de la escorrentía y contaminarlas, desencadenando problemas de eutrofización. Como se explicará a continuación esto puede ser evitado a través del uso de otras estrategias biotecnológicas como la asociación micorrizal.



## Hongos micorrizo-arbusculares

Los hongos formadores de micorrizas arbusculares son microorganismos benéficos que promueven la absorción del agua y nutrientes por las plantas, particularmente ayudan en la absorción de elementos de baja movilidad como el P, Cu y Zn. Estos hongos forman asociaciones mutualistas con las raíces de la mayoría de las plantas, incluyendo el aguacate. En la **Figura 22** se pueden observar las raíces de plántulas de aguacate altamente colonizadas por el hongo micorrizal *Glomus fasciculatum*.

Las hifas del hongo funcionan como una extensión de la raíz, captando así nutrientes más allá del alcance de las raíces. Se ha estimado que las raíces micorrizales pueden explorar 1.000 veces más suelo que la raíz no micorrizal, y con ello acceden a más nutrientes, lo que estimula el crecimiento vegetal. En huertos de aguacate del Norte y Oriente antioqueño se ha encontrado alta presencia de hongos micorrizales en prácticamente todas las muestras analizadas (**Figura 22**).

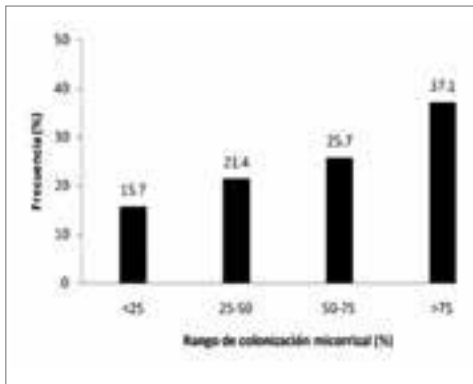


**Figura 22.** Raíces de aguacate exhibiendo colonización micorrizal con el hongo *Glomus fasciculatum* (Osorio *et al.*, 2012).

Foto: W. Osorio

Sin embargo, la respuesta de las plantas a la inoculación micorrizal varía en función de la concentración de P disponible en el suelo. A bajas concentraciones de P, la planta deriva un gran beneficio de esta asociación, pero a altas concentraciones del elemento el crecimiento vegetal puede ser afectado negativamente (**Figura 23**) (Osorio et al., 2012).

En un sentido práctico lo que sugieren los resultados de la **Figura 24**, es que en presencia de la asociación micorrizal la concentración de P no es necesaria, incluso puede ser contraproducente.



**Figura 23.** Frecuencia relativa de valores de colonización micorrizal de raíces de huertos de aguacate del Norte y Oriente de Antioquia (Osorio et al., 2012).

De hecho, la cantidad de P requerida en solución no es 0,2 mg/l sino que puede ser tan baja como 0,02 mg/l. Esto hace que el requerimiento de la fertilización fosfórica en presencia de raíces micorrizales disminuya considerablemente. Para el ejemplo anterior de los tres suelos (Andisol, Oxisol, Mollisol; **Figura 20**), las cantidades de fertilizante fosfórico para alcanzar tal concentración serían 86, 25 y 0 kg/sitio (ver detalle de densidad aparente, profundidad y diámetro del plateo arriba).

Esto representa reducciones del ~50% del fertilizante fosfórico, pero quizá más importante que esto, es evitar problemas agronómicos (inducción de deficiencias de micronutrientes) y reducir los riesgos de contaminación ambiental.

La condición micorrizal, como se mostró en la **Figura 17**, es aparentemente la regla y no la excepción, así que al aplicar altas dosis de P se espera que el desempeño de la planta esté por debajo del óptimo deseado.



**Figura 24.** Aspecto de las plántulas de aguacate no inoculadas (M-) e inoculadas con el hongo micorrizal *G. fasciculatum* (M+) que crecieron a tres concentraciones de P en la solución el suelo 0,002, 0,02 y 0,2 mg/l. Nótese como a las más bajas concentraciones hay una respuesta positiva a la inoculación con el hongo, pero a las más altas, el efecto se vuelve negativo (Osorio et al., 2012).



## Fuentes orgánicas

Después de que los nutrimentos del suelo han sido absorbidos por las raíces del árbol, éstos son transformados en compuestos orgánicos o inorgánicos y transportados a los diferentes órganos del árbol. Con la cosecha del fruto, cada año se retira en forma permanente una gran cantidad de estos nutrimentos y otra parte importante es removida en forma temporal, pudiendo ser reciclada en el huerto, como flores y raíces, entre otros. De ahí la importancia de mantener o incorporar la hojarasca y ramas secas al pie de los árboles, ya que esto no solo mejora las propiedades físicas del suelo y su capacidad de retención de humedad, sino que tiene un papel importante en el ciclaje de nutrientes dentro de la plantación (Salazar-García, 2002).

Durante su evolución, el aguacate desarrolló diferentes estrategias de adaptación. Una de ellas es la de producir varios flujos de crecimiento vegetativo, compuestos de hojas de vida corta pero adaptadas a la sombra y que en su búsqueda por luz crecen en brotes terminales, alejados del tronco y en la periferia del árbol (Wolstenholme y Whiley, 1999). El fruto de aguacate es muy demandante de energía y tiene una gran dependencia de las reservas del árbol (Wolstenholme, 1986). Esto hace que la estrategia de la planta sea de alta eficiencia para captar, almacenar, conservar y reciclar carbohidratos y reservas minerales, haciéndolo parecer como un árbol cuya producción es barata en cuanto al gasto de nutrimentos (Salazar-García, 2002).

La materia seca está compuesta de carbono (C) y otros nutrimentos acumulados durante el crecimiento y desarrollo del fruto. Se usan también nutrimentos en la síntesis de proteínas y aceite, ambos en altas cantidades en la fruta. Por esta razón,

se espera que fruta con mayor contenido de materia seca y aceite requiera más nutrientes (Salazar-García *et al.*, 2006)

El conocer que hay nutrimentos cuya tasa de ciclaje es mayor del 50% y otros en los cuales es muy bajo o nulo, ayuda a entender por qué al aguacate se le considera un frutal cuya producción de fruto es “barata”, desde el punto de vista nutrimental (Wolstenholme y Whiley, 1999). Por otra parte, la gran eficiencia en el ciclaje de N, P y K por las hojas de ambos flujos vegetativos explica porqué en la región de estudio los árboles no muestran síntomas visuales de deficiencia de estos nutrimentos. Sin embargo, también explica la presencia de deficiencias de Ca, Mg, B y en muchas ocasiones, de Zn (Salazar-García *et al.*, 2007).

---

*La descomposición de la materia orgánica constituye asimismo uno de los flujos principales del ciclo del carbono (C), ya que una gran parte de este elemento se devuelve a la atmósfera por la respiración de los organismos descomponedores (Shiels, 2006).*

---

Uno de los índices de calidad de la hojarasca que más se ha utilizado para predecir la descomposición, es la relación carbono:nitrógeno (C:N) (Heal *et al.*, 1997). En este sentido, Vitousek *et al.* (1994) y Thompson y Vitousek (1997) observaron que, entre otros, factores como la disponibilidad de N limita la descomposición.

Estudios sobre las tasas de descomposición de hojarasca y de mineralización/inmovilización de nutrientes en aguacate en Colombia son muy escasos. La disponibilidad limitada y/o el alto costo de los fertilizantes minerales, además de las nuevas exigencias del consumidor (técnicas de agricultura ecológica) hacen

al sistema. Cada año, una buena parte de los nutrientes que son absorbidos por las plantas, se devuelven al suelo por medio de la descomposición de hojas, restos de poda, abscisión de órganos, etc. Por ello, es primordial conocer y maximizar los beneficios de la descomposición de estos residuos, así como de las tasas de reciclado de sus nutrientes.

De acuerdo con Kolmans y Vásquez (1996), las fuentes de fertilización orgánica al ser combinadas con fuentes de fertilización mineral como la roca fosfórica, activan la flora de la rizosfera, fomentan las asociaciones benéficas entre hongos y raíces a través de la liberación de enzimas, la descomposición de toxinas y el estímulo de la germinación y disminuyen la susceptibilidad a plagas y enfermedades, al activar el metabolismo mediante sustancias orgánicas, la absorción de sustancias de defensa y antibióticos del humus, llevando al mejoramiento del rendimiento y sanidad vegetal.

En aguacate pueden utilizarse diferentes tipos de abonos orgánicos y su elección puede estar determinada por la disponibilidad local, el precio, la facilidad de transporte y aplicación. Las hierbas indeseables o pasto que crecen entre los árboles pueden ser podados y los residuos frescos dejarse dispersos sobre el suelo. También pueden ser utilizados para hacer composta y aplicarse como mulch.

La gallinaza, los lombricompostos, los desechos urbanos y otros materiales orgánicos, así como las fuentes inorgánicas de fertilización (roca fosfórica), son recursos potencialmente valiosos para mejorar las condiciones físico-químicas del suelo y restaurar su productividad, al aumentar la disponibilidad de nutrientes dentro del mismo (Tamayo y Muñoz, 1997).

La gallinaza es utilizada como abono orgánico para mejorar la fertilidad de los suelos y como complemento a la nutrición del aguacate. La aplicación de gallinaza mejora la estructura del suelo cuando se aplica en cantidad suficiente, mejora la retención de humedad del suelo, actúa como fertilizante de liberación lenta, incrementa la capacidad del suelo para almacenar nutrientes y es una fuente moderada de N, P, K y de algunos micronutrientes (Salazar-García, 2002).

La cantidad de nutrientes que puede aportarse al suelo con la gallinaza dependerá de la cantidad, la forma de aplicación y de si es incorporada al suelo. Dependiendo de las características físicas y químicas del suelo, la aplicación individual a un árbol adulto de aguacate puede ser de 25 a 50 kg de estiércol, en forma anual o bianual. Con el tipo de gallinaza usada en Nayarit (México), la incorporación de 50 kg (con 20% de humedad) por árbol, aportarían al suelo, 30 g de nitrógeno como nitratos, 37,2 g de fósforo y 16 g de potasio. Estas cantidades de nutrientes están muy lejos de ser suficientes para producir una cosecha redituable de aguacate (Salazar-García, 2002).

Considerando los requerimientos de potasio, para que 156 árboles/ha produzcan una cosecha de 30 t de aguacate Hass, que extraen 78,16 kg de K, sería necesario aplicar 1.566 kg de gallinaza por árbol por año. De aquí la importancia de incluir aplicaciones adicionales de nutrientes a los huertos abonados únicamente con estiércoles (Salazar-García, 2002).



## Conclusiones

La nutrición y la fertilización son aspectos esenciales en el manejo integral del cultivo de aguacate. Los nutrientes cumplen funciones esenciales que determinan el desempeño vegetal y controlan en muy buena parte el potencial de producción. Buena parte de los suelos colombianos exhiben baja disponibilidad de nutrientes y esto ocasiona deficiencias en las plantas. Si bien la identificación de los síntomas de deficiencia es una ayuda importante en el diagnóstico del estado nutricional de las plantas de aguacate, no se deben usar como único criterio, ya que la aparición de los síntomas implica una pérdida significativa en el potencial productivo de la planta.

Los análisis de suelos son una herramienta fundamental para detectar con anticipación niveles deficientes de los nutrientes en el suelo, razón por la cual se deben seguir cuidadosamente las instrucciones para tomar muestras adecuadas y representativas del suelo. Así mismo, las muestras de tejidos foliares pueden ser bastante relevantes para evaluar la existencia de problemas nutricionales en los huertos y así realizar correcciones a través de la fertilización.

En la actualidad se cuenta con criterios satisfactorios para manejar la fertilización de los huertos de aguacate y asegurar la productividad de los huertos. Estas recomendaciones deben ser atendidas técnicamente para evitar manejo inadecuado de cales y fertilizantes. En algunos huertos se han detectado problemas por sobre-encalamiento y sobre-fertilización que deben ser evitados a través de herramientas de diagnóstico y manejo realizados en el laboratorio de suelos, como la incubación de cal y la isoterma de adsorción de fosfato. Estas técnicas pueden jugar un papel importante en el manejo ambientalmente seguro de fertilizantes y enmiendas y al mismo obtener una mejor relación costo-beneficio.

Se debe poner mucho cuidado en el manejo de los elementos menores ya que prácticas como la sobre-fertilización y el sobre-encalamiento pueden disminuir su disponibilidad para las plantas.

Los hongos micorrizo-arbusculares pueden jugar un rol importante en el manejo adecuado de la nutrición vegetal, los experimentos llevados a cabo son muy promisorios sobre su efectos, pero debe ser evaluados en plantas en producción.

La materia orgánica incrementa la eficiencia en el reciclaje de nutrientes y ayuda a la sustentabilidad de condiciones físicas favorables en los suelos, por lo que es uno de los factores más importantes que afectan la fertilidad y productividad de suelos tropicales.