



# II. Nutrición y Fertilización

Álvaro Tamayo V.<sup>1</sup>

## CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

### Clima frío

Los suelos de clima frío en Colombia son de baja fertilidad, con bajos contenidos de nutrientes y desbalances nutricionales, con pHs que fluctúan entre fuertemente a moderadamente ácidos (4,6-5,5). El aluminio intercambiable generalmente es menor de 3,0 cmol/kg de suelo; no obstante, puede llegar a representar hasta el 60% de las bases intercambiables.

En suelos de clima frío, la materia orgánica desempeña un papel preponderante en las propiedades físicas, generando suelos bien estructurados y estables. En cambio, en la parte química, la materia orgánica del suelo aporta poco nitrógeno, fósforo y azufre inorgánico; sin embargo, esta contribuye en forma notoria en la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.). Los cultivos de clima frío moderado como las hortalizas y frutales como la mora y el lulo responden significativamente a aplicaciones de materia orgánica de rápida mineralización, no siendo así con la materia orgánica nativa del suelo. Otra característica importante en estos suelos, es la alta capacidad de cambio aniónico y de fijación de fosfatos, lo cual se atribuye a los altos contenidos de alofana que, como se sabe, es un mineral amorfo con altos contenidos de aluminio y además gran parte del potasio total es potasio orgánico, debido a que la mineralización de la materia orgánica es muy baja.

En la década del 70 (en el Siglo XX), se utilizaba cal agrícola en dosis de 20-30 t/ha para neutralizar la acidez, lo que pudo originar desplazamiento de las bases intercambiables de calcio y potasio de la fracción arcillosa a la solución del suelo, debido a la lixiviación provocada por las cantidades altas de cal agrícola. Igualmente, se amplió la relación Ca-Mg y por ello es frecuente encontrar en los cultivos síntomas de deficiencia de Mg y K, en tanto que los de calcio son poco frecuentes.

<sup>1</sup>. I.A. MSc. Suelos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. Investigación Agrícola. C.I. La Selva. A.A.100, Rionegro, Antioquia, Colombia.





## II. Nutrición y Fertilización

### Clima medio

En Colombia, el piso térmico medio o templado abarca la franja altitudinal entre los 1.000 y 2.000 metros. Los suelos se distinguen por un relieve quebrado que favorece los procesos erosivos. Son suelos moderadamente evolucionados y su naturaleza mineralógica es acentuadamente variable. Predominan los suelos de naturaleza volcánica, particularmente en las zonas cafeteras.

Predominan las tierras con pHs intermedios (5.6 – 7.2), bajas en aluminio intercambiable, medias en materia orgánica (3-5%), bajos en fósforo disponible (< 15 ppm) y medios a altos en potasio intercambiable (> 0.3 c mol/kg de suelo). En resumen, las tierras de clima medio son de mediana fertilidad con alta probabilidad de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno (N) y fósforo (P). Un alto porcentaje de estas tierras son de bajo contenido de magnesio intercambiable y la relación calcio/magnesio amplia, mayor de 3.

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 ppm), cobre (Cu) (< 1,0 ppm), zinc (Zn) (< 1.5 ppm). Los suelos generalmente tienen buen contenido de hierro (Fe) y manganeso (Mn).

### Clima cálido

En términos generales, las tierras más fértiles de Colombia se presentan en clima cálido, sin que esto signifique necesariamente que todos los suelos de clima cálido sean fértiles. El clima cálido comprende regiones localizadas a altitudes inferiores a los 1.000 m.s.n.m. y con temperaturas superiores a los 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, Patía, entre otros y las extensas regiones de la Orinoquía y Amazonía. 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, más o menos bien drenados y por áreas aledañas a los ríos que sufren inundaciones periódicas. Los suelos no inundables, mecanizables y con 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 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 en los que 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 los suelos 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 nitrógeno en las plantas es su participación en la estructura de las moléculas de proteína, de aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas y fosfolípidos. En consecuencia, está involucrado en la mayoría de las reacciones bioquímicas determinantes para la vida vegetal. El nitrógeno tiene también un importante papel en el proceso de la fotosíntesis, debido a que es indispensable para la formación de la molécula de clorofila.

El nitrógeno 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 aumentar el vigor general de las plantas, dar color verde a las hojas y demás partes aéreas, favorecer el crecimiento del follaje y 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 el elemento del crecimiento.





## II. Nutrición y Fertilización

El exceso de nitrógeno retarda la maduración del cultivo y la formación de frutos, provoca un escaso desarrollo del sistema radicular 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.

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, que prefieren tejidos senescentes. Por otro lado, las aplicaciones altas de nitrógeno aumentan la concentración de aminoácidos y de amidas en el apoplasto y en la superficie foliar, las que aparentemente tienen mayor influencia que los azúcares en la germinación y desarrollo de las conidias, favoreciendo el desarrollo de enfermedades fungosas.

### Fósforo (P)

Aunque de los tres elementos primarios (N, P, K) el fósforo es el requerido en cantidades menores, la disponibilidad de este elemento en la mayor parte de los suelos agrícolas del trópico es muy limitada. El fósforo 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 transportador de energía en la planta. El fósforo se requiere en altas concentraciones en las regiones de crecimiento activo. Otra de sus funciones es la de 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, tales como el zinc.

El potencial de fijación de fósforo en andisoles, parece estar relacionado con la presencia de diferentes materiales en la fracción arcillosa, como resultado de las diferentes condiciones de meteorización de la ceniza volcánica. Los suelos dominados por complejos humus-aluminio (Al), parecen tener mayor potencial de fijar fósforo, lo cual aparentemente es difícil de satisfacer. El contenido de carbono total podría ser una 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.s.n.m.); evidencia indirecta obtenida en andisoles de Ecuador y Colombia permite concluir que la fijación de fósforo está estrechamente relacionada con el contenido de carbono en el suelo (complejos humus-Al). Indirectamente, esto también indicaría cuáles minerales arcillosos se formarían a partir de la ceniza volcánica en determinadas condiciones y la intensidad de la fijación de fósforo.





### Potasio (K)

Para un crecimiento vigoroso y saludable, las plantas deben tomar grandes cantidades de potasio. 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.

Se ha demostrado también que el potasio 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 la calidad de éste, 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.

Otra función básica del potasio es la de 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 guardianes 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 y esta función permite el llenado de la fruta.

### Calcio (Ca)

El calcio forma parte de compuestos que constituyen las paredes de la células que mantienen unidas entre sí esas mismas células. Ejerce un efecto neutralizador de los desechos orgánicos de la planta, influye en la utilización del magnesio, potasio y boro en el movimiento de los alimentos producidos por las hojas. La deficiencia del calcio se observa porque el crecimiento se detiene; las hojas del cogollo se enroscan y comienzan a secarse por las puntas y los bordes. Algunas veces las hojas nuevas no se desarrollan.

Uno de los elementos minerales quizás más importantes en la determinación de la calidad de los frutos en lo referente a conservación, es el calcio. Es así como los frutos con altos contenidos de calcio, pueden 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.





## II. Nutrición y Fertilización

### 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 ribonucléico y favorece el transporte de P dentro de la planta. 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.

### Azufre (S)

El azufre es el cuarto elemento esencial para el desarrollo vegetal. Para el crecimiento de las plantas es requerido en cantidad similar al fósforo y magnesio. Algunos cultivos de importancia en el trópico y en el mercado mundial, tales como el café, algodón, palma africana y caña de azúcar, absorben más azufre que fósforo.

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.

## FUNCIONES DE LOS MICRONUTRIENTES

Los investigadores están muy de acuerdo en que, los llamados micronutrientes, desempeñan una función importante en la absorción y asimilación de los principales nutrientes de las plantas. Es decir, la deficiencia de un nutriente mayor, ya sea el nitrógeno, el potasio o el magnesio, hace en principio, un poco difícil la determinación del problema nutricional real de un cultivo.

### Hierro (Fe)

El hierro es el microelemento más abundante en la mayoría de los suelos cultivables, pero en la mayor parte de ellos se encuentra en forma no asimilable. La química de este elemento, al igual que la del manganeso, es muy compleja, pues se sabe que se oxida y reduce fácilmente según las condiciones del suelo. Cuando se oxida queda no asimilable. 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.





Algunas de las enzimas y de los portadores que actúan en el mecanismo respiratorio de las células vivas, son compuestos de hierro; ejemplos específicos son la catalasa, la peroxidasa, la oxidasa citocrómica y los citocromos. La participación del hierro, 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.

El hierro 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.

### **Cobre (Cu)**

El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción. Dos ejemplos notables son la citocromo-oxidasa, una enzima respiratoria que se halla en las mitocondrias y la plastocianina, una proteína de los cloroplastos. El cobre induce formación de polen viable, por ello su más alta demanda se presenta en la floración. El cobre actúa conjuntamente con el manganeso y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes.

### **Manganeso (Mn)**

El manganeso tiene una función estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y actúa en la disociación fotosintética de la molécula de agua. El manganeso es un elemento esencial para la respiración y para el metabolismo del nitrógeno; en ambos procesos actúa como activador enzimático. El manganeso interviene en la activación de numerosas enzimas que actúan en el metabolismo de los carbohidratos, tales 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 hidroxilamina en amoníaco.

El manganeso 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. Inhibe además, enzimas productivas por hongos ya establecidos. El manganeso es esencial en el proceso que controla en la raíz la producción de la microflora, reduciendo la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos causantes de enfermedades.





## II. Nutrición y Fertilización

### Molibdeno (Mo)

El molibdeno es esencial para el proceso de fijación de nitrógeno por parte de las bacterias en los nódulos de las raíces de las leguminosas. El molibdeno 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 molibdeno induce efectos positivos en la formación de polen viable al momento de la floración y fecundación.

### Boro (B)

Una vez que el boro 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 boro disponible para la planta durante todo su ciclo de crecimiento y desarrollo.

El boro 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, 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.

En resumen, el boro 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, en presencia de una deficiencia de boro no crecen nuevas raíces y tampoco nuevos brotes.

### Zinc (Zn)

Es indispensable en la formación de clorofila. Es componente de varias enzimas, entre ellas las que promueven el crecimiento. Interviene en la utilización del agua y otros nutrimentos. El zinc regula el crecimiento de los meristemas al nivel de la raíz y parte aérea, mediante el control de la síntesis de triptófano, aminoácido precursor de la hormona del crecimiento conocida como ácido indolacético, AIA (auxina).

El zinc 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  $\text{CO}_2$ . Además, está involucrado en la reducción de nitratos y síntesis de aminoácidos que se transformarán en proteínas.





### Cloro (Cl)

Las plantas absorben el cloro como ion  $\text{Cl}^-$ . 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.

## SINTOMAS 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:

### Nitrógeno

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, presentando una clorosis característica (Figura 1).



(Figura 1)

El sistema radical es poco ramificado, con raíces más finas y más largas. Otro síntoma muy marcado de la deficiencia de este elemento, es la presencia de racimos florales terminales sin brotes foliares acompañantes.

### Fósforo

Como en el caso del nitrógeno, la deficiencia de fósforo 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 intervenales. La coloración verde de la planta se torna un tanto azulada, sufriendo una inclinación de 45 grados, debido al doblamiento de los pecíolos y base de las hojas.





## II. Nutrición y Fertilización

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.

### Potasio

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, cubriendo posteriormente toda la hoja.



(Figura 2)

### Calcio

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 paralizan su desarrollo formando rosetas de hojas lanceoladas, luego se presenta una clorosis apical que avanza por los espacios intervenales, abarcando posteriormente toda la hoja. Árboles en producción con deficiencia de calcio, presentan frutos con necrosis en el área de unión del pedúnculo con el fruto, lo cual causa caída de frutos pequeños o pudrición de los mismos cuando éstos quedan adheridos al árbol (Figura 3). Los niveles normales de calcio en las hojas se encuentran entre 0,9% a 1,5%, en plantas con deficiencia de este elemento, los valores se encuentran en 0,05%. Es necesario aclarar que las deficiencias de calcio están asociadas al magnesio y al potasio, por lo que se debe tener en cuenta, no tanto el valor del calcio sólo, sino la relación calcio/magnesio y la de calcio/magnesio/potasio, para determinar la deficiencia de este elemento, ya que tanto el magnesio como el potasio, en altas concentraciones pueden inhibir la absorción del calcio.



(Figura 3)





### Magnesio

El síntoma característico de la deficiencia de magnesio, es una clorosis intervenal difusa, que se acentúa lateralmente y se presenta cerca de la nervadura central y progresa posteriormente hacia el borde de las hojas (Figura 4). Los niveles en las hojas se encuentran entre 0,25% a 0,80%, siendo de un valor de 0,1% en plantas deficientes.



(Figura 4)

### Boro

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 contiguos presentan una sobretrotación. Las plantas deficientes presentan un tenor de 11 ppm en las hojas. Las hojas nuevas presentan un aumento del tenor de potasio y una disminución notable del tenor de calcio. Los frutos se deforman y en las ramas se presentan malformaciones en forma de agallas.

### Manganeso

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 5). Los niveles foliares encontrados en las plantas deficientes estuvieron entre 8 y 13 ppm; se cree que un nivel crítico del elemento estaría alrededor de 16 ppm.



(Figura 5)

### Azufre

La deficiencia de azufre 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.





## II. Nutrición y Fertilización

### Hierro

Con la ausencia del hierro, las hojas jóvenes son verde pálido, siendo la base de las mismas más verdes (Figura 6). 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 y 70 ppm. Se presenta un aumento del potasio y del calcio con disminución del tenor del magnesio.



(Figura 6)

### Zinc

La deficiencia de zinc 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.

### Cobre

La carencia de cobre afecta los órganos jóvenes, en particular los meristemos terminales. Los extremos de las hojas se necrosan y se enroscan; posteriormente las hojas caen precozmente, quedando desnudas las extremidades de las ramas principales y secundarias.

## 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 inducen 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 las necesidades de la planta. El análisis químico del suelo, dispuesto para el establecimiento del cultivo, nos refleja el verdadero estado nutricional del mismo y nos sirve para 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. El esquema más sencillo y el más usado, consiste en tomar submuestras al azar, de todo el campo. Luego se mezclan las submuestras, para obtener una muestra compuesta que irá al laboratorio. Por ser el aguacate un cultivo perenne, las exigencias de nutrientes 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 escogidos, de modo que se pueda obtener una muestra representativa del campo.

Un procedimiento común consiste en recorrer el lote, siguiendo dos líneas diagonales en forma de X, en las cuales se escogen las plantas en forma sistemática (un árbol cada cierto número de árboles), dependiendo del tamaño del lote (Figura 7).



(Figura 7)



## II. Nutrición y Fertilización

Se puede usar cualquier otra forma sistemática de muestreo, tratando de cubrir adecuadamente el campo, acomodándose a las condiciones particulares de cada huerto. 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.

Con relación a la profundidad de muestreo, éste se debe realizar tomando en consideración las características de la distribución del sistema radical del aguacatero.

Se debe efectuar un muestreo superficial (0 a 20 cm) y uno profundo (20 a 50 cm), siendo muy importante verificar además, a esta profundidad, la presencia o no de impedimentos físicos, los cuales afectan el desarrollo de las raíces, 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. 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. Las submuestras de cada árbol se recolectan en un recipiente plástico limpio, se mezclan completamente y de esta mezcla se retira una porción de alrededor de un kg de suelo, que es lo que se envía al laboratorio.



(Figura 8)

Para un buen diagnóstico, además del análisis del suelo, que da información sobre el contenido de los elementos disponibles en el suelo, 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.

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 (Figura 7).

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).



(Figura 9)



(Figura 10)

El muestreo completo debe provenir de por lo menos 25 árboles y contener más de 100 hojas por cada 2,5 hectáreas. 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 cinnamoni* Rands, puesto que estos factores también afectan acentuadamente la concentración de los elementos en las plantas.

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, y 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.

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.



## II. Nutrición y Fertilización

Las concentraciones de los nutrientes en las hojas sirven de referencia para ajustar los niveles de producción a través de los años. La Tabla 1 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 2).

**Tabla 1. Niveles nutricionales en las hojas del aguacate (Chapman, 1973).**

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

**Tabla 2. Extracción de nutrientes en fruta fresca de aguacate, de árboles en plena producción.**

Nutriente	kg/tonelada de fruta fresca
Nitrógeno	3,152
Fosforo	0,736
Potasio	3,530
Calcio	0,547
Magnesio	0,474
Azufre	0,183
g/tonelada de fruta fresca	
Boro	3,7
Cobre	3,0
Hierro	7,4
Manganeso	2,0
Molibdeno	0,02
Zinc	4,5



La extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate, en orden descendente sería la siguiente:  $K_2O > N > P_2O_5 > CaO > MgO > S$ . Algunos autores han demostrado que es razonable esperar diferencias significativas en remoción de nutrientes entre los diferentes cultivares de aguacate. En un estudio en México, la cantidad de N, P y K removidos por el cultivar Hass fue la más alta. Una producción de 20 t/ha removió 52, 21 y 94 kg de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. La remoción de potasio en fruta fresca del cultivar Hass fue, en comparación, 70, 77 y 39% más alta que en los cultivares Choquete, Hall y Booth-8, respectivamente. 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 crecimiento y calidad óptimos. Los contenidos de P, Mg y S en el suelo deben ser adecuados antes de la siembra. Se debe chequear el contenido de micronutrientes y si es necesario se deben hacer aplicaciones foliares.

### 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 Florida (USA), 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. Algunos autores consideran que se debe establecer una relación nitrógeno-fósforo-potasio (N, P, K), haciendo el nitrógeno 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. Otros, trabajando 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.





## II. Nutrición y Fertilización

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 nitrógeno-potasio. La aplicación de 1.200 g/árbol de nitrógeno y 1.600 g/árbol de potasio redonda en un incremento del beneficio económico sobre la parcela testigo en el orden del 67%, en la variedad Pollock, con seis años de edad.

### Sugerencias generales de fertilización

Tomando como base la edad fisiológica y la producción por planta (cajas de frutos/planta), en Brasil se sugiere un plan de fertilización como se muestra en las Tablas 3 y 4. La aplicación de los fertilizantes debe ser fraccionada en tres o cuatro veces al año.



**Tabla 3. Plan de fertilización en árboles jóvenes de aguacate (menores de 4 años).**

Edad planta (años)	Nutrimentos (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

**Tabla 4. 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

Empleando el criterio de fertilización por sustitución, varios autores en Venezuela recomiendan aplicar 200, 100 y 200 g/planta de NPK, 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 5, se muestra una recomendación de fertilización, en árboles de aguacate en producción.





**Tabla 5. Recomendación por fertilizante en árboles en producción, para una cosecha de 10 t/fruta fresca/ha.**

Nutrientes	Fertilizante (kg/ha/año)	Fertilizante g/planta/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 6.

Las cantidades de P y K a aplicar dependen de la cantidad de estos nutrientes presentes en el suelo, de acuerdo con su análisis y al porcentaje de nutrientes en las hojas, de acuerdo al análisis foliar. Cuando el contenido es bajo, se utilizarán las dosis altas y viceversa. En este caso, es aconsejable fraccionar la dosis de nutrientes a través del año, aplicando una tercera parte del N y todo el P y K antes de la floración, el segundo tercio del N al inicio de las lluvias y el tercio final de N a mediados de la época lluviosa.

**Tabla 6. Fertilización del aguacate de acuerdo a la edad de la planta.**

Edad de la planta (años)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	G/árbol/año		
A la siembra	300	600-2000	200-600
2	600	200-600	200-300
3	800	300-800	200-600
4	1000	300-800	300-900
5	1500	400-1200	400-1,200
6	1800	500-1500	400-1,200
7 en adelante	2000	500-1500	600-1,400





## II. Nutrición y Fertilización

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.

### 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. Estas raíces se hallan localizadas entre la mitad del radio de la copa y la proyección externas de la misma (Figura 11).

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



(Figura 11)





# Bibliografía

**Avilán, L.; Figueroa, M. 1977.** Estado nutricional del aguacate (*Persea americana* Mill.) en el huerto de introducciones del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Venezuela. *Agronomía Tropical*. 27(4):473-481.

**Avilán, L.; Chirinos, V.; Figueroa, M. 1975.** Exportación de nutrientes por una cosecha de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Agronomía Tropical*. 28(5):449-461.

**Avilán, L.; Leal, F.; Bautista, D. 1989.** Aguacate. En: Manual de Fruticultura; Cultivo y Producción. Editorial América, C. A. p. 740-756.

**Chapman, D. 1973.** Diagnostic criteria for plants and soils. Quality Printing Inc. Riverside, California, USA.

**Devlin, R., 1982.** Fisiología Vegetal. Cuarta edición. Barcelona, España, Editorial Omega, S.A. 516 p.

**Espinosa, J. 1996.** Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. *Infopos. Informaciones Agronómicas*. No. 23:1-3.

**Espinosa, J. 1998.** Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica y fertilización fosfórica del cultivo de la papa. En: Fertilización de cultivos de clima frío. Ricardo Querrero Riascos (ed.), Monómeros, p. 103-111.

**Gualdrón, A.R.; Herrón, F. 1979.** Fraccionamiento, fijación y liberación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas del Oriente antioqueño. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, No.4. Medellín. p.59-93.

**Guerrero, R. 1996.** Los nutrientes de las plantas. En: Fertilización de cultivos de clima cálido. Ricardo Querrero Riascos (ed.), Monómeros. p. 37-43.

**Hiroce, R.; Ojima.; Gallo M., J.R.; Bataglia, O.C.; Furlawi, P.R.; Furlani, A.M. 1979.** Composicao mineral e exportacao de nutrientes pelas colheitas de frutos subtropicais e temperados. *Congresso brasileiro de Fruticultura*. p.179-189.

**Infopos. 1979.** Potasa: su necesidad y uso en agricultura moderna...Instituto de la Potasa y el Fósforo del Canada. 60 p.

**Jaramillo, J.D. 1995.** Andisoles del Oriente antioqueño. Caracterización química y fertilidad. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 35 p.

**Jaramillo, J.; Tamayo, A.; Mazo, J. 1998.** Abonamiento orgánico y químico de lechuga, brócoli, coliflor y zanahoria en suelos derivados de cenizas volcánicas en clima frío moderado. En : Frutos de la Investigación Agrícola. 1994-1997. CORPOICA, Regional 4. Rionegro, Junio de 1998, 181 p.

**Lazcano-Ferrat, I.; Espinoza, J. 1998.** Manejo de la nutrición del aguacate. En: *Informaciones Agronómicas*. *Infopos*. No 31 p. 3-6.





## II. Nutrición y Fertilización

**León, S.A. 1971.** Teorías modernas sobre la naturaleza de la acidez del suelo. Suelos Ecuatoriales. 3(1):42.

**Sánchez, P.; Patricia, M. 2000.** Fertilización y nutrición del aguacatero. En: El aguacate y su manejo integrado. Daniel Téliz (Coord.) Ediciones Mundi-Prensa. México. p.103-113.

**Salazar, S.; Lazcano, N. 2002.** Remoción de nutrientes de cuatro cultivares de aguacate. En: Informaciones Agronomicas. Inpofos. 47 p. 5-7.

**Muñoz, R. 1998.** Fertilización de la papa en Antioquia. En: Fertilización de cultivos de clima frío, Ricardo Guerrero Riascos (ed.) Monómeros. p. 43-61.

**Muñoz, R.; Molina, L. 1980.** Informe Anual de Progreso. ICA Regional 4. p. 32-36.

**Muñoz, R. 1979.** Los elementos secundarios S, Ca y Mg en suelos de clima frío en Colombia. VI Coloquio sobre Suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Palmira, 20 p.

**Ospina, O. 1974.** El fósforo en los andisoles. Suelos Ecuatoriales. 681:97-136.

**Tamayo, A.; Hincapié, M.; Bernal, J.; Londoño, M. 1998.** Abonamiento orgánico y químico en clon de lulo La Selva (*Solanum quitoense* Lam) a plena exposición solar en un andisol del Oriente antioqueño. En: Memorias Segundo Seminario Frutales de Clima Frío Moderado. Manizales 12 al 14 de agosto 1998, p.161-165.

