



Agricultura Razonada®

West Analítica y Servicios S.A. de C.V.
Esmeralda No. 2847 Colonia Verde Valle
44550 Guadalajara, México
Teléfonos: (33)31231823, 31217925
Portal Web: www.westanalitica.com.mx
Correos: eaquilar@allabs.com
maldana@allabs.com mgarcia@allabs.com

El Cultivo de MANGO

Capítulos

- 1. Fertilización y Nutrición**
- 2. Análisis foliar**
- 3. Factores que afectan la absorción de nutrientes**
- 4. Funciones y respuesta de los nutrientes**
- 5. Distribución y acumulación de los nutrientes**
- 6. Anexos ilustrados**

1. Fertilización y Nutrición

RESUMEN:

pH: Suelos levemente ácidos a levemente alcalinos (6.0-7.5)

Tabla 1. Recomendaciones de fertilización para la producción de mango, según la edad y rendimiento del árbol.				
Edad (Años)	Rend. (Kg/Árbol)	N a - b*	P ₂ O ₅ ** a - b*	K ₂ O** a - b*
		gramos/árbol/año		
2	4	20 - 25	10 - 12	25 - 30
4	56	230 - 250	115 - 175	225 - 420
6	80	330 - 500	165 - 250	395 - 600
8	160	660 - 995	330 - 490	790 - 1195
10	220	908 - 1360	450 - 680	1090 - 1630
12	300	1322 - 1980	660 - 990	1580 - 2370
14	320	1322 - 1980	660 - 990	1580 - 2370
16	320	1322 - 1980	660 - 990	1580 - 2370
18	320	1322 - 1980	660 - 990	1580 - 2370
20	220	908 - 1360	450 - 680	1090 - 1630
22	220	908 - 1360	450 - 680	1090 - 1630
24	220	908 - 1360	450 - 680	1090 - 1630
26	160	660 - 995	330 - 490	790 - 1195
28	160	660 - 995	330 - 490	790 - 1195

* - "a" = mínimo a aplicarse, "b" = máximo a aplicarse. El uso del nitrógeno debe variar según el cultivo, rendimiento, tipo de suelo y las condiciones ambientales.

** - Aplicaciones base de P₂O₅ y K₂O según los resultados del análisis de suelo. En suelos con altos niveles de nutrientes, aplique la cantidad más baja "a". En suelos con niveles medios de nutrientes, aplique una tasa entre "a" y "b". En suelos con niveles bajos de nutrientes, aplique la cantidad alta "b".

La aplicación de fertilizantes puede ser dividida para mayor eficiencia y/o evitar el daño a las raíces.

2. Análisis Foliar

Un plan de nutrición para el mango no se puede basar solamente en resultados de análisis de suelo. Los análisis de suelo pueden o no representar qué nutrientes están disponibles para la planta. Un análisis foliar (o de tejido) muestra el grado en que la planta está aprovechando los nutrientes. Este análisis debe utilizarse en conjunto con los análisis de suelo; ambos son básicos para formular el plan de nutrición.

Tabla 2. Niveles de suficiencia foliar para el mango. De: Mills, H. A. y J. B. Jones Jr. 1996. Plant Analysis Handbook II.											
Elemento	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %	B ppm	Zn ppm	Mn ppm	Fe ppm	Cu ppm
Alto	2.00	0.35	1.50	5.00	0.50	0.35	150	200	200	200	100
Bajo	1.00	0.08	0.50	1.50	0.15	0.12	25	20	50	50	8

Etapa de desarrollo: Post inflorescencia
Parte de la Planta: Hojas maduras de nuevo crecimiento
Cantidad: 25+ Hojas

3. Factores que afectan la absorción de nutrientes

Diversos estudios han demostrado que el mango se adapta y subsiste adecuadamente en diferentes tipos de suelo. Se considera que esta alta capacidad de adaptación está relacionada con su gran volumen radicular que permite desarrollar una amplia superficie de absorción, sus relativamente bajos requerimientos nutricionales y una eficiente reutilización de los nutrientes (Jacob y Uexkull, 1973; Embleton y Jones, 1966; Avilán y Meneses, 1979; Ponchner et al., 1993 ay b). Sin embargo, suelos duros y compactados restringen el crecimiento de las raíces y reducen la tasa fotosintética de las plantas leñosas perennes como el mango (Schaffer, 2000).

El crecimiento de las raíces depende del equilibrio entre la fase sólida, líquida y gaseosa del suelo y también del régimen de temperatura. Estos son los principales factores responsables del movimiento y disponibilidad de nutrientes en la zona de exploración radicular (Samra y Arora, 1997). Niveles bajos de humedad en el suelo reducen la absorción debido a que el agua es el vehículo del traslado de nutrientes. Se considera que el mango es moderadamente resistente al encharcamiento (Schaffer et al., 1994). Sin embargo, niveles muy altos de humedad saturan el suelo y reducen o eliminan el contenido de oxígeno (O₂). La presencia de O₂ es indispensable para la respiración de las raíces y para los procesos de transformación y acumulación jónica mediados por microorganismos, como la mineralización de la materia orgánica y la oxidación de amonio (NH₄⁺) a nitrato (NO₃⁻) y de azufre elemental (S⁰) a sulfato (SO₄²⁻) formas de N y S

absorbidas por la planta. De igual manera, el exceso de humedad y la acumulación de CO₂ afecta la respiración y en consecuencia el proceso de absorción de nutrientes (Malavolta et al., 1997).

Por otro lado, el mango es una planta tolerante a la sequía, condición que se atribuye a su vigoroso sistema radicular y a presencia de redes de tubos comunicantes (laticíferos) que secretan internamente un líquido blanquecino llamado látex, una emulsión heterogénea de agua, gomas, resinas y enzimas que permite a las hojas mantener su turgencia a través de un ajuste osmótico, reduciendo de esta forma el déficit interno de agua (Gola et al., 1959).

El mango crece adecuadamente en suelos con un rango amplio de pH que va de 5.5 y 7.5. El pH indica el grado de acidez o basicidad expresados por la concentración de iones hidrógeno (H⁺) o hidroxilo (OH⁻) de una solución ($\text{pH} = \log$ de la inversa de la concentración de iones H⁺ y OH⁻). Una solución es neutra cuando tiene pH 7 (igual concentración de iones H⁺ y OH⁻), una solución ácida tiene un pH menor de 7 (concentración más alta de iones H⁺) y una solución alcalina tiene un pH mayor de 7 (concentración más alta de iones OH⁻). Cuando se discute la incidencia del pH del suelo en la absorción de iones por la planta hay que distinguir entre la acción directa de la concentración de iones H⁺ u OH⁻ y el efecto indirecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Los iones H⁺ y OH⁻ pueden tener un efecto depresivo directo en la absorción de nutrientes. A pH bajo se reduce la absorción de cationes por competencia entre éstos y los iones H⁺ por sitios en los transportadores. De igual forma, a pH alto la absorción de aniones se reduce por competencia con los iones OH⁻ (Malavolta et al., 1997). Otro efecto directo de la acidez es la presencia de aluminio libre (Al³⁺) en la solución del suelo. En suelos tropicales, el Al³⁺ aparece en la solución del suelo a pH menor a 5.3. Una alta concentración de Al³⁺ satura las células libres de la corteza en la raíz (Figura 4) y retira el Fe necesario en los procesos de división del núcleo celular, inhibiendo de esta forma el crecimiento radicular. Además, las altas concentraciones de Al³⁺ promueven una acumulación excesiva de pectina en las paredes de las células nuevas haciendo que pierdan su plasticidad (Pratt, 1966).

El efecto indirecto de la acidez del suelo en la disponibilidad de nutrientes se observa en la Figura 1. En suelos ácidos la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Mo es baja, la posibilidad de fijación de P es alta, se puede perder K por lavado, pueden presentarse excesos de Mn y Al y se dificulta la mineralización de los materiales orgánicos (Pratt, 1966; Malavolta, 2000). La acidez también se puede definir en términos de porcentaje de saturación de bases (V) (Malavolta, 2000). Este parámetro toma en cuenta la participación porcentual de los iones H⁺ y Al en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) total del suelo. La V se define de la siguiente forma:

$V = 100 \times S / T$ donde:

V = Porcentaje de saturación de base.

S = Suma total de bases cambiables (Ca, Mg, K, Na).

T = Suma total de bases cambiables más los elementos de acidez cambiante (H y Al) del suelo.

La V es un parámetro importante en suelos tropicales de baja CIC donde una alta concentración de Al intercambiable ocupa un alto porcentaje de la CIC. Los cultivos tienen diferente tolerancia a los efectos nocivos del Al, y la V indica cuánto Al está presente en la fase de intercambio al indicar el porcentaje de bases presentes en el sistema. Se considera que el valor adecuado de V para el mango es 80% (Raij, 1996 citado por Malavolta, 2000).

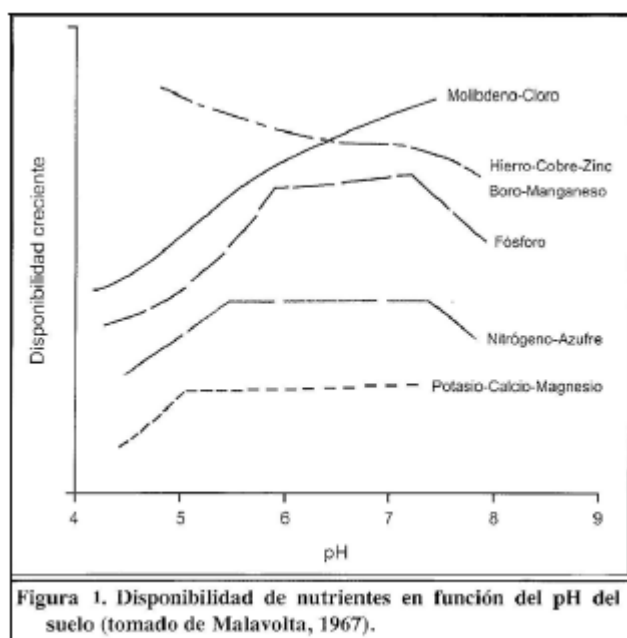
La CIC es una de las propiedades más importantes del suelo y comprende los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo absorben (retiran) iones de la fase acuosa (solución del suelo) y liberan al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes para mantener el equilibrio (Fassbender, 1975). Esto es posible gracias a las cargas electrostáticas que se desarrollan en la superficie de los coloides del suelo que son partículas que tienen un diámetro efectivo menor de 20 micras. Estas partículas son arcilla, limo y humus, ésta última es la fracción estable de los compuestos de carbono después de la descomposición de los materiales orgánicos.

El contenido de humus y su participación en la dinámica del suelo es particularmente importante. Si solamente se busca adicionar nutrientes al suelo, en especial N, la acumulación de humus, a través de la descomposición de los materiales orgánicos, tendría poca importancia ya que la fertilización mineral actúa con mucha mayor precisión y eficiencia (Primavesi, 1982). La real importancia de la acumulación de compuestos de carbono recalcitrantes (humus) radica en efecto positivo y duradero sobre las propiedades físico-químicas del suelo. Desde el punto de vista físico, el humus estabiliza la estructura y mejora la aireación y percolación y desde el punto de vista químico, incrementa la CIC y la capacidad tampón del suelo.

El humus es una partícula coloidal cargada negativamente. La carga proviene de los grupos carboxílicos, alcohólicos o fenólicos de la superficie del coloide y por esta razón incrementan la CIC del complejo coloidal arcilla-humus. Esto ayuda a retener cationes (K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}) en forma intercambiable (Malavolta et al., 1997). La acumulación de humus en el suelo incrementa la capacidad tampón, es decir, la resistencia a los cambios bruscos de pH, reduciendo la acidificación del suelo. Además, el humus puede formar complejos con algunos iones metálicos (quelación), particularmente microelementos, lo que permite mantener estos elementos en el sistema para que puedan ser utilizados por la planta cuando los necesite.

El aumento de los fenoles durante la descomposición de los materiales orgánicos contribuye positivamente al proceso respiratorio y a la mejor absorción de P. Los materiales orgánicos en transcurso de humificación producen sustancias de carácter hormonal (fitohormonas) que actúan positivamente sobre los procesos fisiológicos de las

plantas (Trocme y Gras, 1966; Domínguez, 1984; Primavesi, 1982). Entre los frutales, el mango está clasificado como cultivo sensible a la concentración de sales y sodio en el suelo (Schaffer et al., 1994). Los suelos con problemas de salinidad, que generalmente ocurren en regiones áridas y semiáridas, se caracterizan por tener bajo potencial osmótico y altas concentraciones de sodio (Na^+) y de otros iones (boratos, cloruros, sulfatos) que pueden ser tóxicos para la planta. El desarrollo de la raíz se paraliza cuando están expuestas a un medio salino (Epstein, 1975). Además, existe evidencia de que altas concentraciones de sales reducen la permeabilidad de las raíces, alterando la velocidad de absorción del agua y de nutrientes (Kramer, 1974).



También se debe considerar que la presencia de iones en la solución del suelo genera antagonismo y sinergismo entre los nutrientes con respecto a la absorción por la planta. El antagonismo ocurre cuando un nutriente en alta concentración en el suelo inhibe la absorción de otro llegando a inducir deficiencia del segundo. Con el sinergismo, la presencia de un ión aumenta la absorción de otro. Los antagonismos en arboricultura son los siguientes: N/K, N/B, P/Zn, P/Cu, K/Mg, K/B Cu/Fe, Ca/microelementos. Los sinergismos son: N/Mg, Mg/P, K/Fe (Trocme y Oras, 1966).

4. Funciones y respuesta de los nutrientes

Nitrógeno (N)

El N es parte fundamental de las proteínas y ácidos nucleicos, constituyentes básicos de la materia viva vegetal. Las proteínas están formadas por una cadena de aminoácidos y cada eslabón contiene al menos un átomo de N. Esta cadena constituye la estructura de la maquinaria vegetal. Los ácidos nucleicos determinan la selección, número y ensamblaje

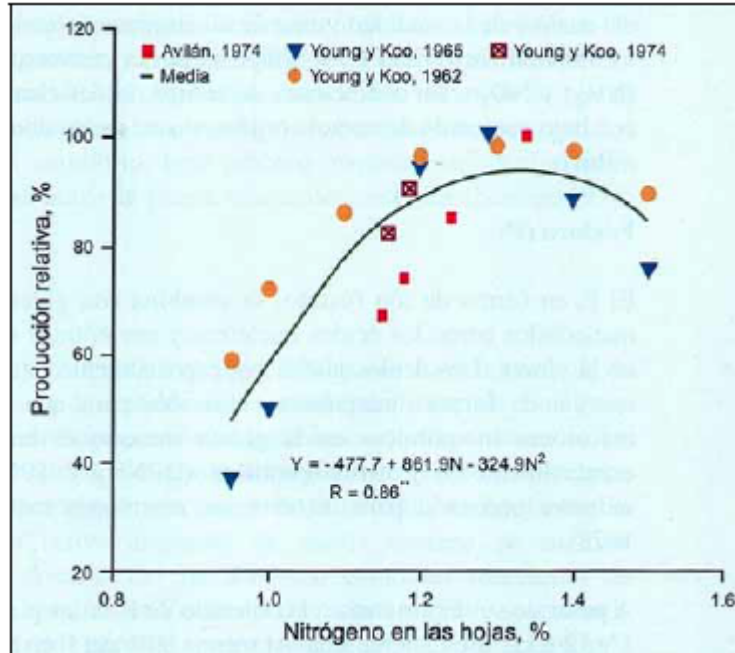
de los aminoácidos, es decir el código genético. El N forma parte integral de la clorofila y de esta forma interviene en el proceso de la fotosíntesis y promueve el rápido desarrollo vegetativo de la planta de mango y estimula la formación y el crecimiento de las yemas florales. Todo esto explica la relación directa entre la disponibilidad de N, el crecimiento y rendimiento de la planta (Martín-Prevel, 1978).

El síntoma característico de la deficiencia de N es el amarillamiento (clorosis) que se inicia en las hojas viejas (Foto 1). Las proteínas de los órganos maduros se encuentran en constante desdoblamiento y síntesis, y cuando el suelo no puede suplementar adecuadas cantidades de N, el elemento acumulado en los órganos viejos, principalmente en las hojas, se redistribuye' o se transloca hacia los tejidos nuevos, por esta razón, la deficiencia aparece primero en las hojas viejas (Martín-Prevel, 1978; Malavolta, 1979 b). El síntoma se extiende desde la punta por la nervadura central hasta abarcar toda la hoja. A medida que la deficiencia se hace más severa, el síntoma se desplaza en forma gradual a las hojas más jóvenes provocando la clorosis en toda la lámina foliar. Otros síntomas de deficiencia de N son: retraso en el crecimiento, falta de vigor de la planta, brotaciones cortas y amarillentas, caída prematura de las hojas, floración abundante con escaso cuajado de frutos y frutos pequeños con corteza fina (Malavolta et al., 1997).

Resultados de investigación de campo conducida en diversas zonas productoras de mango han encontrado incrementos sostenidos de la producción con la aplicación de N en dosis que variaron en función de las condiciones locales (Avilán, 1974; Sargent et al., 1995; Mallick y De, 1952; Young y Koo, 1974; Barbery et al., 1975; Prasad y Saran, 1969-71; Syamal y Mishra, 1989; Bondad, 1995; Vega y Molina, 1999). Se determinó además que el exceso de N favorece el desarrollo vegetativo en detrimento de la producción. El mango pertenece al tipo de planta que frecuentemente responde a las medidas que estimulen el crecimiento, como la aplicación de N, con reducción de la floración y la fructificación (Culi, 1991). El rango entre la deficiencia y exceso de N en las hojas es muy estrecho (12 a 15 g kg⁻¹ de materia seca). Quaggio (1996), usando resultados disponibles en la literatura correlacionó el N foliar con la producción de mango y obtuvo la curva que se presenta en la Figura 7. De acuerdo con esta información, el punto de máxima producción se obtiene con un contenido foliar de N próximo a los 13 g kg⁻¹ de materia seca.

La calidad del fruto también se afecta cuando se utilizan cantidades muy altas de N y los niveles de Ca en la planta son bajos. Esto provoca el desorden fisiológico denominado nariz blanda (soft nose) que se caracteriza por un ablandamiento de la pulpa desde la parte ventral hacia el ápice del fruto. Los efectos del exceso de N, los bajos contenidos de Ca o las dos condiciones actuando simultáneamente tienen relación lineal con la nariz blanda. Se considera que la incidencia del desorden aumenta cuando la relación N/Ca en la hoja es superior a 0.5 (Young y Miner, 1961). Para reducir la incidencia de este desorden es necesario aumentar la disponibilidad de Ca y evitar el exceso de N (Quaggio, 1996).

Figura 2. Curva de correlación entre N foliar y producción de mango determinada con información de la literatura (Quaggio, 1996)



La relación N/K es también importante. Nuevamente, el exceso de N y el bajo contenido de K en la planta tienen un efecto negativo en el desarrollo y producción de la planta de mango (Lynch y Mustard, 1951; Palacio et al., 1991). Una adecuada relación N/K afecta positivamente el rendimiento y esto se logra manteniendo en la fertilización una relación N/K de 1.5 (Barbery et al., 1975).

El exceso de N puede también afectar la calidad del fruto a la cosecha. Normalmente, durante la maduración de la fruta la clorofila se degrada y se acumulan las antocianinas y los carotenoides, dando el color característico al fruto. Sin embargo, con exceso de N los frutos no maduran uniformemente y la cáscara presenta manchas de color verde (Foto 2).

La disponibilidad para la planta depende del contenido de N en la solución del suelo y de la cantidad y tasa de mineralización de la materia orgánica (Domínguez, 1984). La mineralización del N es simplemente la conversión del N orgánico a formas minerales (NH₄⁺ y NO₃⁻). En condiciones de campo, la deficiencia generalmente se presenta en suelos con bajo contenido de materia orgánica o en suelos donde el N se lixivia por el exceso de riego o lluvia.

El Fósforo (P)

El P, en forma de ion fosfato, se combina con glúcidos y bases nitrogenadas para formar nucleótidos como los ácidos nucleicos y nucleótidos solubles que cumplen funciones

vitales en la planta. Los ácidos nucleicos, especialmente la adenosina trifosfato (ATP), transportan energía en forma directamente utilizable para que puedan iniciarse un gran número de reacciones bioquímicas en la planta (reacciones enzimáticas). Los nucleótidos solubles, especialmente di y trifosfopiridinas (DPNH₂ y TPNH₂), transportan el potencial óxido- reductor necesario para las diversas reacciones metabólicas en la planta (Martín-Prevel, 1978).

A pesar de su importancia, el contenido de P en las plantas es menor al N y K, variando entre 1 y 12 g kg⁻¹ de materia seca. Al menos 80% del P en la planta está incorporado a compuestos orgánicos (Domínguez, 1984). Al igual que el N, el P se redistribuye fácilmente en la planta (nutriente móvil), especialmente cuando se presenta deficiencia.

La deficiencia de P se caracteriza por la presencia de necrosis en la punta de las hojas más viejas. Estas hojas caen prematuramente y se seca el tallo. La planta reduce drásticamente su desarrollo, especialmente el de las raíces, las cuales no se ramifican limitando así la capacidad de absorción. Los tenores de P en hojas con síntomas de deficiencia de plantas de mango cultivadas en solución nutritiva son de 0.50 g kg⁻¹ y en las hojas normales de 0.55 g kg⁻¹ de materia seca (Smith y Scudder, 1951). Sin embargo, los contenidos foliares considerados como adecuados para brotes con fruto terminal son de 0.8 a 1.2 g kg⁻¹ y para brotes sin fruto terminal de 1.2 a 1.4 g kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000).

Se ha encontrado que la aplicación individual de P o K, o la aplicación conjunta de estos dos elementos tienen poco efecto en el crecimiento del mango, pero combinados con N provocan buen crecimiento y producción de frutos (Roy et al., 1951). Estudios conducidos en árboles de 5 años del cultivar Langra demostraron que la mayor proporción de P se localiza en las ramas (36%), seguido por las hojas (25%) y la madera (22%). Las cantidades de P detectadas en la corteza y las raíces son bajas (Eswara et al., 1983).

El P es absorbido por las raíces en forma de iones ortofosfato primario (H₂PO₄⁻) y ortofosfato secundario (HPO₄⁻²). El pH controla el tipo de ortofosfato predominante en la solución del suelo. A pH 7.2 existen iguales cantidades de ambos ortofosfatos, a pH ácido predomina el H₂PO₄⁻ y a pH alcalino el ión HPO₄⁻². Los ortofosfatos forman fácilmente pares iónicos con el Al y Fe en suelos de pH ácido y con el Ca en pH alcalino, formando compuestos de menor solubilidad que se precipitan en el suelo. Estos aniones también pueden reaccionar con el Al o Fe de la superficie de los coloides en suelos tropicales ácidos en el proceso denominado de fijación. Debido a los procesos de precipitación y fijación el P sale de la solución del suelo y deja solamente una muy baja concentración. Sin embargo, cuando las raíces de la planta deprimen la concentración de P de la solución del suelo, el P de los compuestos precipitados regresa a la solución para mantener el equilibrio. Este proceso mantiene suficientes iones ortofosfato en la solución del suelo para nutrir la planta constantemente (Fassbender, 1975; Tisdale y Nelson, 1970).

El Potasio (K)

El K permanece en estado iónico (K^+) disuelto en el jugo celular sin formar parte de la estructura de la planta. Sin embargo, este catión es esencial para muchas funciones metabólicas de la planta. La presencia de K promueve el equilibrio con los aniones en las células de la planta, trabaja como osmoregulador, controla la apertura y cerrado de las células guardianes de los estomas y con este proceso controla la economía del agua en la planta y la turgencia de las células. Este catión activa alrededor de media centena de enzimas participando de esta forma en fases diversas del metabolismo como las reacciones de fosforilación, síntesis de carbohidratos, respiración y síntesis de proteínas. El K se acumula en la raíz creando un gradiente osmótico que permite el movimiento del agua hacia dentro la planta operando de igual modo en las hojas y juega un papel importante en la resistencia de la planta a las enfermedades (Domínguez, 1984; Malavolta, 1979 b). Generalmente, altos contenidos de K en la planta están asociados con altas producciones.

La deficiencia de K se inicia en los tejidos viejos (nutriente móvil dentro de la planta) como puntos amarillos y áreas necróticas a lo largo de los márgenes de las hojas en la base de las ramas (Foto 3). Las hojas que aparecen después son de menor tamaño (Smith y Scudder, 1951). Los contenidos de K determinados en las hojas deficientes de plantas cultivadas en solución nutritiva fueron de 2.5 g kg^{-1} y en las hojas normales de 9.7 g kg^{-1} de materia seca. El contenido de K considerado como adecuado en las hojas de los brotes con y sin fruto terminal varían de 4 a 6 g kg^{-1} de materia seca (Malavolta, 2000). Los contenidos foliares elevados como los determinados en las plantas cultivadas en solución nutritiva están asociados al denominado consumo de lujo, donde el alto tenor del K en los tejidos no es acompañado por un aumento en la producción y el crecimiento (Malavolta et al., 1974).

El K es absorbido por la planta en forma de K^+ . La dinámica del K en el suelo no es tan complicada como la de N o P. Este elemento se mantiene también como catión K^+ en la solución del suelo y es retenido como catión intercambiable por las cargas negativas de los coloides del suelo. Cuando la planta usa el K^+ de la solución del suelo, el K intercambiable lo reemplaza y satisface las necesidades de la planta. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) representa la magnitud de las cargas negativas del suelo y es un reflejo directo de su fertilidad. Mientras mayor sea la CIC del suelo mayor será la posibilidad de retener K, Ca y Mg. Los suelos arenosos y los suelos tropicales ácidos tienen baja CIC, retienen poco K y lo pueden perder fácilmente por lixiviación (PPIPPIC, 1997).

El Calcio (Ca)

Este nutriente se encuentra ya como ión libre (Ca^{2+}) o combinado con grupos orgánicos de escasa movilidad (oxalatos, carbonatos, fosfatos, carboxilos, etc.) en la planta. El Ca es indispensable para la división y crecimiento de la célula, juega un papel esencial en la estabilidad de las membranas al actuar como agente cementante (principalmente como pectato cálcico que se localiza en la lámina intermedia de las paredes celulares) y es básico para la absorción de elementos nutritivos y varios procesos metabólicos (Rivero, 1968;

Martín-Prevel 1978; Malavolta, 1979 b). Es absorbido del suelo por las partes más jóvenes de la raíz, en las cuales las células de la endodermis todavía no se han suberificado. La vía de entrada es el espacio libre intercelular.

El contenido de Ca en la planta es alto y varía de 5 a 30 g kg⁻¹ de materia seca. Se considera que el contenido foliar adecuado de Ca para brotes de mango con fruto terminal es de 28 a 34 g kg⁻¹ y sin fruto terminal de 30 a 33 g kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000). Estos valores son superiores a los encontrados por Smith y Scedder (1951) en hojas normales de mango cultivado en solución nutritiva (9.1 g kg⁻¹). Este nutriente es poco móvil dentro de la planta, en consecuencia, cuando existe carencia de Ca las regiones de crecimiento (yemas y puntas de raíces) son las primeras que se afectan. Los síntomas de deficiencia se presentan en las hojas nuevas que desarrollan una clorosis marginal o internerval, además, las yemas terminales dejan de crecer y pueden morir (Martín-Prevel, 1978; Malavolta, 1979 b). La alteración del sistema radicular es generalmente el primer síntoma de una grave carencia de Ca y se caracteriza por la falta de desarrollo y pudrición de las raíces (Rivero, 1968).

La degradación o gelatinización de la pulpa hasta la descomposición interna de la fruta de mango, desorden conocido como desintegración interna (interna! breakdown), se atribuye a la deficiencia de Ca (Menezes, 1997). El Ca confiere rigidez a la pared de las células del fruto, cuando este nutriente es deficiente la permeabilidad celular aumenta y el tejido interno del fruto se degrada. El proceso normalmente ocurre desde el inicio del desarrollo del fruto y afecta seriamente la comercialización. Esta anomalía ocurre principalmente en los cultivares indiana o en aquellos con pedigree indiana, como todos los seleccionados en Florida, Estados Unidos. En Guatemala, por ejemplo, se reportó en 1990 que el 70% de los frutos del cultivar Tommy Atkins se perdieron debido a este desorden. En Brasil esta anomalía es común en suelos ácidos y se corrige con la aplicación de carbonato de calcio (cal agrícola, CaCO₃) o con aspersiones de nitrato de calcio [Ca(NO₃)₇] (Menezes, 1997).

El Ca es absorbido por la planta de la solución del suelo en forma del ión Ca^{2±}. Al igual que los cationes K y Mg, el Ca es retenido por fuerzas electrostáticas por las cargas negativas de los coloides del suelo, sin embargo, el Ca es retenido con mayor fuerza. En los suelos tropicales ácidos con pH menor a 5.5 generalmente se encuentran altas concentraciones de Al y Mn, pero también bajos contenidos de bases cambiables, principalmente Ca (Malavolta, 1979 b). La aplicación de CaCO₃ neutraliza la acidez y elimina la toxicidad del Al y Mn, aumentando al mismo tiempo el contenido total y la disponibilidad de Ca en el suelo. Cuando el contenido de Ca es bajo en suelos con pH superior a 5.5 es mejor aplicar sulfato de calcio (yeso agrícola, SO₄Ca) para elevar el contenido y disponibilidad de Ca en el suelo (Espinosa y Molina, 1999).

El Magnesio (Mg)

El Mg es constituyente de la clorofila (C₃₅H₇₂O₅N₄Mg) por lo que una parte apreciable del contenido total de Mg en la planta se encuentra en los cloroplastos de las células de

las hojas. El Mg participa además en la síntesis de carbohidratos, proteínas, lípidos y vitaminas y ayuda al metabolismo del P (Malavolta, 1979 b; Domínguez, 1984).

Se considera que el contenido adecuado de Mg en la hoja de mango de brotes con y sin fruto terminal varían de 5 a 8 g kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000).

Los síntomas de deficiencia de Mg se caracterizan por la reducción del desarrollo y prematura caída de las hojas. En las hojas maduras se presenta clorosis a cada lado de la nervadura central y entre las nervaduras laterales, luego la decoloración se extiende hacia los márgenes (Foto 4). En las hojas nuevas que se han desarrollado completamente se presenta una zona triangular verde sobre la parte central del limbo, mientras que en los márgenes de las hojas aparece una coloración bronceada. Cuando la deficiencia es severa, este color alcanza la nervadura central dejando solo una pequeña región verde alrededor de esta nervadura y los márgenes de la hoja se secan (Smith y Scedder, 1951).

La planta absorbe este nutriente en forma de ión Mg²⁺ de la solución del suelo y es retenido en el suelo por atracción electrostática de las cargas negativas de los coloides.

Entre las causas de la deficiencia de Mg pueden mencionar la pobreza del elemento en el suelo, especialmente en suelos arenosos y/o ácidos, el lavado del Mg intercambiable por exceso de lluvia o irrigación, menor absorción debido a limitaciones provocadas por la acidez del suelo o inhibición de la absorción inducida por antagonismo con otros cationes (Guiraraes, 1982). Muchos cultivos creciendo en suelos con contenidos adecuados de Mg desarrollan síntomas de deficiencia de este nutriente. Esto se debe a que existe antagonismo del Mg con K y Ca. La condición más generalizada se presenta cuando se fertiliza con cantidades altas de K o cuando se encala el suelo. El incremento en la concentración de K o Ca en el suelo inhibe la absorción de Mg y aparece la deficiencia. Se presentan otros antagonismos como Mg sobre Ca y Mg sobre K, pero esos son menos frecuentes (Malavolta, 1979 b).

El Azufre (S)

Cerca del 90% del S total presente en la planta corresponde a formas orgánicas. El S forma parte de aminoácidos esenciales (cistina y metionina) que forman las proteínas, de la coenzima A y vitaminas, es un activador enzimático, participa en la síntesis de la clorofila, en la absorción del dióxido de carbono (CO₂) y en las reacciones de fosforilación (Guiraraes, 1982; Malavolta, 1979 h).

En el mango, el contenido foliar de S es superior al de P, lo que indica que existe mayor requerimiento de S que P por este cultivo (Ponchner et al., 1993 a y b). El contenido adecuado de S en las hojas de mango de brotes con y sin fruto terminal varía de 1.5 a 1.8 g kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000). Las plantas deficientes en S se caracterizan por el crecimiento retardado (debido a que la falta de S impide la formación adecuada de proteínas) y por una acentuada caída de las hojas. Por la escasa movilidad del S en el floema de la planta, los primeros síntomas de deficiencia aparecen en las hojas nuevas

como una clorosis uniforme en toda la superficie (Foto 5). Posteriormente los bordes y la punta de las hojas se marchitan y se doblan hacia abajo (Smith y Scedder, 1951).

La principal fuente de S en el suelo es la materia orgánica, por esta razón, la deficiencia es más frecuente en suelos con bajos contenidos de materia orgánica. Sin embargo, en muchas áreas productoras de mango, la deficiencia de S ha sido inducida por el uso de fertilizantes con mayor concentración de N, P y K, pero que carecen de S (urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio). Como regla general, se sugiere que se debe suministrar al cultivo una cantidad de S que permita mantener una relación N/S de 5/1 con el N aplicado (Malavolta, 1981).

Las plantas absorben el S del suelo preferentemente como ión sulfato (SO_4^{2-}), pero también pueden absorber en menor cantidad S orgánico de los aminoácidos que proceden de la descomposición de la materia orgánica en el suelo y el anhídrido sulfuroso (SO_2) del aire que penetra a través de los estomas de las hojas (Malavolta, 1979 a).

El Boro (B)

El B se encuentra en la planta como ácido bórico (H_3BO_3) sin disociar o formando complejos inestables con polisacáridos. Por sus efectos, se deduce que el B está envuelto en la formación de los ácidos ribonucleicos (RNA) que son esenciales para la formación de tejidos nuevos (Domínguez, 1984). Además, el B es esencial para la formación de la pared celular, la división y aumento en tamaño de las células, el funcionamiento de la membrana citoplasmática y facilita el transporte de carbohidratos de las hojas para otros órganos (Malavolta, 1979 b). Es también fundamental para la germinación del grano de polen y el crecimiento del tubo polínico y además controla el tamaño, peso y la retención de los frutos en el árbol (Guimaraes, 1982). La deficiencia de B afecta a las flores, particularmente las masculinas, reduciendo la fertilidad por microsporogenesis y el crecimiento del polen en el tubo polínico. Como resultado, la embriogenesis se reduce provocando el aborto de la semilla, la formación incompleta o daño del embrión y la mal formación de los frutos (Dell y Huang, 1997). Para evitar deficiencias, el contenido foliar de B en el mango debe ser superior a 70 mg kg⁻¹ y el contenido en el fruto superior a 20 mg kg⁻¹ (Ram y Srohi 1989 citados por Quaggio, 1996). Se considera que el contenido adecuado de B en la hoja es de 30 mg kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000).

El B es relativamente inmóvil en la planta y por lo tanto no se mueve a través del floema (Domínguez, 1984). Las plantas deficientes en B se caracterizan por tener entrenudos cortos y crecimiento limitado. Las hojas nuevas son de menor tamaño, color verde pálido, torcidas y quebradizas. Las hojas viejas se retuercen de un lado y la nervadura central se oscurece en el lado inferior de la hoja (Smith y Scudder, 1951). Cuando se presentan deficiencias graves de B, la yema terminal muere y se paraliza todo el desarrollo. La necrosis interna del fruto (internal fruit necrosis) es un desorden fisiológico asociado con la deficiencia de B (Foto 6). Los síntomas son similares al de nariz blanda y se caracterizan por coloración verde oscura en la parte apical del fruto que evoluciona para pardo oscura. Internamente, el tejido de la pulpa se desintegra en una masa marrón oscura y el fruto

exuda goma (Quaggio, 1996). En la India se ha reportado que aspersiones de B y Zn, antes y durante la floración del cultivar de mango Chaunsa, lograron incrementar significativamente el peso de los frutos, el contenido de sólidos solubles totales y disminuir la acidez (Khan et al., 2001). Similares resultados han sido reportados por otros investigadores en relación al efecto significativo de la aplicación de B en el número, tamaño y calidad del fruto (contenido total de azúcares, ácido ascórbico y sólidos solubles), en aplicaciones individuales o en combinación con Zn (Quaggio, 1996).

También se han encontrado diferencias entre cultivares en relación a la respuesta a la aplicación de B. Estudios conducidos en Brasil demostraron que el cultivar Winter fue menos sensible a la aplicación de B, presentando buena producción y normal retención de frutos con bajos contenidos foliares de B, el cultivar Tommy Atkins tuvo una respuesta intermedia y en los cultivares Haden-2H y Van Dyke la respuesta fue muy alta. La aplicación de Bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) al suelo, inicialmente 300 g planta⁻¹ y luego 100 g planta⁻¹ anuales, casi no incidió en la producción del cultivar Winter, sin embargo, duplicó la producción del cultivar Tommy Atkins e incremento en más de cinco veces la de los cultivares Haden-2H y Van Dyke (Rossetto et al., 2000).

El B es absorbido por las plantas como ácido bórico (H_3BO_3) que se mantiene como especie sin disociar en la solución del suelo. Penetra en la planta siguiendo el movimiento del agua y de esta forma la transpiración es el principal factor que controla el transporte y la distribución del B a través del xilema (Domínguez, 1984). La deficiencia de B puede ser provocada por bajos contenidos de materia orgánica en el suelo, reducción de la disponibilidad provocada por la sequía o por encalado excesivo del suelo y lavado provocado por exceso de lluvia o riego, particularmente en suelos arenosos (Tisdale y Nelson, 1970; Guimaraes, 1982).

El Zinc (Zn)

Este nutriente actúa como activador de enzimas y es esencial para la síntesis del triptófano que después de varias reacciones produce el ácido indolil acético (AIA), auxina de crecimiento vegetal, que aumenta el volumen celular. Por esta razón, la deficiencia de Zn se manifiesta por presencia de un menor número de células que tienen también menor tamaño. En consecuencia, las hojas de los brotes son más angostas de lo normal y presentan clorosis en los tejidos que rodean las nervaduras. Las nervaduras parecen resaltar con un color verde sobre fondo amarillo, los entrenudos son más cortos, las hojas se agrupan en rosetas (Malavolta, 1979 b; Lynch y Ruelhe, 1940). El contenido de Zn en las plantas es muy pequeño, alrededor de 100 mg kg⁻¹ de materia seca (Domínguez, 1984). Se considera que el adecuado contenido foliar de Zn para mango es de 90 mg kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000).

El Zn es absorbido del suelo como ión Zn^{2+} donde generalmente se encuentra combinado con aniones como fosfato, sulfato o carbonato, dependiendo del pH. Por esta razón, la disponibilidad de Zn^{2+} se reduce con el incremento en pH, ya que los compuestos de Zn formados a pH alto son menos solubles. El incremento de una unidad

del pH (por efecto del encharcamiento) provoca una disminución de 100 veces en la concentración de Zn en la solución del suelo. Lo mismo ocurre con el Cu, Mn y Fe (Malavolta, 1979 a). El encharcamiento y la falta de aireación pueden disminuir la disponibilidad del Zn en alrededor de 25%. En suelos arenosos y ácidos, la disponibilidad de Zn es generalmente baja y la deficiencia de este elemento es frecuente.

Por otro lado, desde hace mucho tiempo es conocida la clásica deficiencia de Zn inducida por aplicaciones excesivas de P. Se consideró por mucho tiempo que este fenómeno ocurría por la reacción del P con el Zn en el suelo formando fosfato de Zn insoluble. Sin embargo, esta explicación fue abandonada cuando se demostró que los fosfatos de Zn son solubles y pueden servir como fuente de estos dos nutrientes. Los mecanismos de la deficiencia de Zn inducida por P son los siguientes: inhibición de la absorción del Zn y transporte a larga distancia.

La inhibición de la absorción del Zn se produce cuando el incremento en la concentración de P en el suelo reduce la absorción de Zn por las raíces. Se trata de una inhibición no competitiva, es decir los dos elementos son absorbidos con la mediación de distintos transportadores. Si el pH del medio es alto y el catión acompañante del Zn es Ca ocurre precipitación de Zn en la superficie de las raíces y como consecuencia la absorción se reduce. Los altos contenidos de P en el suelo reducen también el transporte de este nutriente a larga distancia dentro de la planta por la precipitación de fosfato de Zn en los vasos conductores de la savia. El suministro de fertilizantes fosfatados en suelos con contenidos bajos y medios permite un indiscutible efecto en la producción, sin embargo, cuando las concentraciones de P en el suelo son altas, la concentración de Zn en los tejidos se reduce progresivamente debido al efecto combinado de los mecanismos discutidos anteriormente y aparecen las características deficiencias de Zn que afectan al rendimiento (Rivero, 1968; Malavolta, 2000).

El Cobre (Cu)

El Cu se encuentra disociado sin formar compuestos estables, sin embargo, las plantas requieren de Cu para los procesos de oxi-reducción. Además, este elemento actúa como metal activador de muchas enzimas (Domínguez, 1984).

El Cu no se redistribuye apreciablemente por el floema y por ello los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas nuevas que inicialmente demuestran marchitamiento y deformación del limbo, y luego las hojas presentan clorosis y necrosis en manchas irregulares. Además, se pueden presentar ramas con pústulas de goma, muerte descendente de las ramas (die back) y frutos con erupciones pardas de goma (exantema) (Rivero, 1968; Malavolta, 1979 b). Se ha notado que la deficiencia de Cu aparece con mucha más frecuencia en plantas jóvenes forzadas a crecer con altas aplicaciones de N, así como en los brotes de plantas adultas sobre- injertadas (Ruehle, 1949; Ruehle y Ledin, 1955). El contenido de Cu en las plantas es generalmente inferior al contenido Fe, Mn y Zn con concentraciones menores a 20 mg kg⁻¹ de materia seca (Domínguez, 1984). El

contenido foliar adecuado de Cu para mango es de 30 mg kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000).

Este nutriente es absorbido por la planta como ión Cu²⁺ mediante metabolismo activo y la absorción no se afecta por competencia de otros cationes. Sin embargo, la presencia de Cu²⁺ en la solución del suelo afecta la absorción de otros cationes, en especial Zn. La disponibilidad del Cu para las plantas depende del nivel de materia orgánica, pH y la presencia de otros iones metálicos en el suelo. Como regla general, la retención de Cu en el suelo aumenta con el incremento de materia orgánica y se reduce a medida que aumenta el pH (Tisdale y Nelson, 1970).

El Hierro (Fe)

Este elemento forma parte de numerosos complejos orgánicos relacionados principalmente con los procesos de oxi-reducción de la planta como respiración, fotosíntesis y reducción de nitratos (NO₃⁻) y sulfatos (SO₄⁻), El Fe es inmóvil en la planta, por esta razón, debe ser enviado de modo continuo a través del xilema a los nuevos tejidos de la planta. El movimiento en sentido descendente a través del floema es escaso y se produce en forma de citrato (Domínguez, 1984). Las plantas con deficiencia de Fe se caracterizan por una clorosis de las hojas de los brotes nuevos. Las hojas jóvenes presentan un color amarillo claro, pero las nervaduras permanecen verdes (Foto 7) (Wolfe et al, 1969). El contenido promedio de Fe en las plantas es de alrededor de 100 mg kg⁻¹ de materia seca. El contenido foliar de Fe considerado como adecuado para el mango es de 70 mg kg⁻¹ de materia seca (Malavolta, 2000). El Fe puede ser absorbido por la planta como ión ferroso (Fe²⁺) o asociado a complejos orgánicos en forma de quelatos. El ión férrico (Fe³⁺) debe ser reducido a Fe²⁺ antes de la absorción y este proceso ocurre en la superficie externa de la membrana celular por suministro de electrones desde el interior de la célula.

La carencia de este elemento ocurre particularmente en los suelos alcalinos o calcáreos. Esta deficiencia se corrige con aplicaciones directas al suelo o vía irrigación de quelatos o con aplicaciones foliares de sulfato de hierro (Kadman y Gazit, 1984). En suelos ácidos se puede presentar deficiencia inducida de Fe por competencia en absorción y translocación causada por la presencia de Mn y otros metales pesados en altas concentraciones en la solución del suelo (Epstein, 1975).

Se puede producir toxicidad de Fe cuando la planta acumula un exceso del elemento en los tejidos. Esto generalmente ocurre en suelos inundados donde las condiciones reductoras del sistema ponen a disposición de la planta una alta cantidad de Fe²⁺ de fácil absorción. Los síntomas de toxicidad de Fe aparecen como manchas marrones pequeñas que se extienden a todas las hojas (Domínguez, 1984).

El Manganeseo (Mn)

El Mn es un activador de enzimas, pero además participa en procesos metabólicos como la fotosíntesis y el metabolismo de los hidratos de carbono y aparentemente está

asociado a la producción de clorofila. Se encuentra en la planta en forma iónica (Mn^{2+}) o asociado a complejos orgánicos (quelatos).

La movilidad del Mn es escasa, el nutriente es transportado directamente a los tejidos en desarrollo por el xilema, pero el movimiento de unos tejidos a otros o la redistribución por el floema son lentos y poco probables (Malavolta, 1979 a). El primer síntoma de deficiencia aparece como una reducción del crecimiento y los síntomas en las hojas aparecen mucho más tarde. Las hojas más jóvenes muestran un fondo verdeamarillento con una fina red de venas verdes. Las hojas adultas son más gruesas y rugosas (Smith y Scudder, 1951). El contenido total de Mn en las plantas es bajo variando entre 20 y 200 mg kg^{-1} de materia seca. El contenido foliar adecuado de Mn para mango es de 120 mg kg^{-1} de materia seca (Malavolta, 2000).

La planta absorbe Mn en forma de ión Mn^{2+} , sin embargo, puede estar presente como iones de valencia 2, 3, y 4 en la solución del suelo. El pH bajo y la falta de aireación (condiciones reductoras) facilitan la acumulación de Mn^{2+} (Malavolta, 1979 a y b). La deficiencia de Mn es común en suelos arenosos bien drenados, en suelos con pH superior a 7.0, en suelos orgánicos o suelos minerales a los que se ha adicionado grandes cantidades de materia orgánica (Malavolta, 1981).

Los síntomas de la toxicidad del Mn se presentan en suelos ácidos o en aquellos que se inundan fácilmente y se caracterizan por la presencia de moteados marrones, distribución desigual de la clorofila y clorosis de los bordes en las hojas más viejas. También aparecen puntos necróticos en los pecíolos y nervaduras (Domínguez, 1984). Además de toxicidad por un alto contenido de Mn en el suelo, los síntomas también pueden ser inducidos por la carencia de Fe (Malavolta, 1981).

Ponchner et al. (1993 b) reportan concentraciones altas de Mn (entre 644 y 1 000 mg kg^{-1}) en árboles adultos de los cultivares Tommy Atkins e Irwin creciendo en suelos ácidos de Costa Rica (Tabla 3). Estas concentraciones son mayores al límite superior de suficiencia de 250 mg kg^{-1} señalado por Jones et al. (1991) y de 500 mg kg^{-1} señalados por Crane et al. (1997). Además, indican que no se observaron síntomas de toxicidad en las hojas, lo que sugiere que el árbol de mango presenta algún grado de tolerancia a las altas concentraciones de Mn a través de mecanismos de inmovilización en las paredes celulares y selectividad específica en el plasmalema. La alta disponibilidad de Mn puede inhibir la absorción de otros cationes como Mg, Ca, K y Zn, cuyo contenido es bajo en suelos ácidos (Ponchner et al., 1993 b).

El Cloro (Cl)

Este elemento no forma parte de ningún compuesto orgánico considerado esencial, pero es necesario en la fotólisis del agua, reacción por la cual se libera O_2 dentro de la planta (Malavolta, 1979 b). Aun cuando las deficiencias de Cl son comunes en cereales como trigo y cebada, no se observan síntomas de carencia de Cl en mango. Esto se debe al aporte de Cl por la sal de mar traída al interior por los vientos y que se depositan con la

lluvia y al aporte indirecto de Cl en las aplicaciones de cloruro de potasio como fertilizante (Malavolta et al., 1979 a).

En ocasiones se puede presentar toxicidad de Cl que se caracteriza por la reducción del vigor de los árboles después de presentar en las hojas más viejas, inicialmente en los márgenes, una coloración rojo ladrillo con apariencia a quemado, que posteriormente afectaba toda la lámina. En estos casos, el contenido foliar de Cl es alto y el de K es bajo (Pandey et al., 1971).

Tabla 3. Concentración promedio de micronutrientes en tejidos foliares de mango. Cultivos Tommy Atkins e Irwin de diferentes edades (Ponchner et al., 1993 b).

Tejidos foliares*	Mn	B	Cu	Fe	Zn
	mg / kg-1				
Tejidos viejos	1 000	35	26	168	35
Tejidos intermedios	916	32	23	153	31
Tejidos nuevos	644	27	17	146	27

* Tejidos viejos: tercera ola de crecimiento de afuera hacia adentro.
 Tejidos intermedios: segunda ola de crecimiento de afuera hacia adentro.
 Tejidos nuevos: ola de crecimiento más reciente, primera de afuera hacia adentro.

Molibdeno (Mo)

El Mo forma parte de diversas enzimas y está ligado al metabolismo del N al participar en la reducción de los nitratos (NO₃⁻) para la síntesis de aminoácidos que forman las proteínas, por esta razón, cuando no está presente en cantidades suficientes, se produce acumulación de nitratos en las hojas (Rivero, 1968; Malavolta, 1979 a y b). En mango no se ha reportado ésta anomalía. El contenido de Mo en la planta es inferior a 1 mg kg⁻¹ aunque pueden darse casos de contenidos muy superiores (1 500 - 2 000 mg kg⁻¹) sin que lleguen a producir síntomas de toxicidad (Domínguez, 1984). La disponibilidad del Mo depende del pH del suelo, siendo mayor en condiciones alcalinas, al contrario de lo que sucede con B, Cu, Zn, Mn y Fe. Este nutriente es absorbido de la solución del suelo en forma de ión molibdato (MnO₄⁻²) que es relativamente móvil dentro de la planta (Malavolta, 1979 a; Domínguez, 1984).

5. Distribución y acumulación de los nutrientes

El conocimiento de la composición mineral de las partes que conforman la planta permite establecer las necesidades nutricionales del cultivo. En la Tabla 4 se presentan los patrones de acumulación y distribución de N, P, K, Ca y Mg en diferentes partes del árbol de mango cultivar Sensation con 2, 6 y 18 años de edad, en la época de la cosecha (Stassen et al.,

2000 a y b). Esto indica que independiente de la edad de los árboles la concentración de los elementos en las diferentes partes de la planta es similar o constante. Las concentraciones más altas de N se presentan en las hojas y en el hueso, y las mayores concentraciones de P y K en las hojas y corteza. Las concentraciones más altas de Ca se encuentran en las hojas y la corteza, mientras las más altas de Mg en las hojas jóvenes, raíces y la corteza.

Tabla 4. Concentración media de los macronutrientes en las diferentes partes de una planta. Mango Sensation con 2, 6 y 18 años de edad, en la época de la cosecha (Stassen et al., 2000 a y b).

Parte del árbol	N	P	K g / kg-1	Ca	Mg
Raíces	4.9	1.2	5.6	4.3	1.9
Corteza	4.8	2.5	15.2	13.5	1.8
Madera	3.4	1.0	4.9	2.1	1.1
Brotaciones nuevas	6.4	1.7	13.8	8.7	1.0
Hojas maduras	13.7	1.1	8.5	16.4	1.5
Hojas jóvenes	14.7	1.7	11.3	7.6	2.0
Hojas caídas	8.5	0.7	4.9	16.5	1.4
Frutos frescos	4.8	0.6	11.3	1.0	0.9
Hueso*	8.6	1.7	7.6	0.8	1.3

* Hueso = endocarpio + semilla.

El N en las hojas representa el 40% del contenido total de N existente en el árbol, mientras que en las raíces se acumula el 13%. El contenido de N en la madera y los brotes nuevos se incrementa con la edad de los árboles, en los árboles jóvenes el N de los frutos representa el 24% del total de la planta, mientras que en los árboles más viejos el 13.5% (Stassen et al., 2000 a).

El P aparentemente se acumula de manera uniforme en las diferentes partes del árbol (15 a 20% en cada parte), sin embargo, el contenido de P decrece en la corteza y se incrementa en los nuevos brotes con el aumento de la edad de los árboles. Los mayores contenidos del K se localizan en las hojas y en los frutos (20% del total de K en la planta en cada parte). El Ca al igual que el N se acumula en las hojas donde se encuentra el 40% del total, mientras que los contenidos de Ca en los brotes nuevos y la corteza varían entre el 14 al 16%. Con el incremento de edad de los árboles, el Ca se acumula en las raíces y se reduce en el fruto. El Mg se acumula en las hojas y en las raíces, 20 y 30% del contenido total de Mg, respectivamente. El contenido de Mg en el fruto disminuye con el aumento de la edad de los árboles (Stassen et al., 2000 a).

Variaciones de las concentraciones de nutrientes a través de un ciclo anual de producción del mango se caracteriza por la presencia sucesiva de las siguientes fases fenológicas: crecimiento, floración y fructificación (Figura 3). El inicio de la fase de floración,

caracterizado por la presencia de las estructuras florales, ocurre con mayor frecuencia los días con temperaturas mínimas inferiores a los 20°C (Avilán et al., 2002 a y b). Las fechas en las cuales se inicia la floración en los países de América Latina varían con la latitud de las diferentes zonas de producción de mango y esto, en consecuencia, afecta la época de maduración del fruto. En las zonas productoras de mango de Perú y Ecuador la maduración del fruto con mayor frecuencia se inicia en Noviembre, en Colombia en Febrero y en Venezuela en Mayo. Estas ventanas de producción favorecen la exportación de mango de Perú y Ecuador. Las variaciones de las concentraciones de nutrientes en las hojas de árboles de mango cultivar Kent de 14 años de edad, en función de los estadios fisiológicos durante un ciclo anual de producción, se presentan en la Tabla 5 (Avilán, 1971). Se observa que las concentraciones más altas de N, P y K ocurren en las épocas anteriores a la floración (muestréos I y II). Luego se inicia un mareado descenso en la concentración de estos nutrientes, encontrándose los niveles más bajos durante las etapas de plena floración y formación del fruto (muestréos III y IV). Durante el cuajado y maduración del fruto, las concentraciones de estos nutrientes se mantienen y posteriormente se incrementan (muestréos V y VI). Solamente el Ca presentó un comportamiento inverso al antes descrito.

Los datos de la Tabla 5 sugieren la existencia de dos periodos característicos con respecto al comportamiento de los nutrientes en el mango: a) un periodo de acumulación de nutrientes en las hojas que comienza al finalizar la cosecha y que se extiende hasta la floración y b) un periodo de reducción en las concentraciones foliares de nutrientes que coincide con la formación del fruto. Este último periodo es el más crítico desde el punto de vista de manejo de nutrientes.

Datos de estudios similares en árboles de mango cultivar Manila de 31 años de edad demostraron que las concentraciones más altas de N se presentan antes de la floración y las más bajas a mediados del periodo vegetativo. La concentración de P se redujo considerablemente en las fases de floración y fructificación, y aumentó en la fase vegetativa. La concentración de K fue menor desde la fase vegetativa hasta el inicio de la fructificación. La mayor concentración de Ca y Fe ocurrió en la fase de fructificación, la mayor concentración de Mg y Zn en la fase vegetativa y la mayor concentración de Cu en la floración. La mayor concentración de Mn ocurrió durante la diferenciación floral y la menor concentración en la fase de fructificación (Guzmán et al., 1990 y Guzmán, 1997).

Figura 3. Comportamiento fenológico de mango Haden que se inicia con el primer brote de crecimiento y posteriormente la floración en los meses de temperaturas bajas (Adaptado de Cumare y Avilán, 1994).

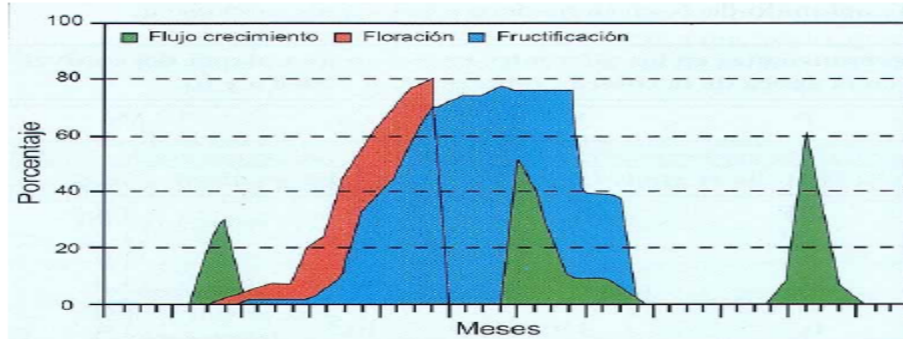


Tabla 5. Concentración media de los nutrientes en las hojas de mango en diferentes estadios de producción (Avilán, 1971).

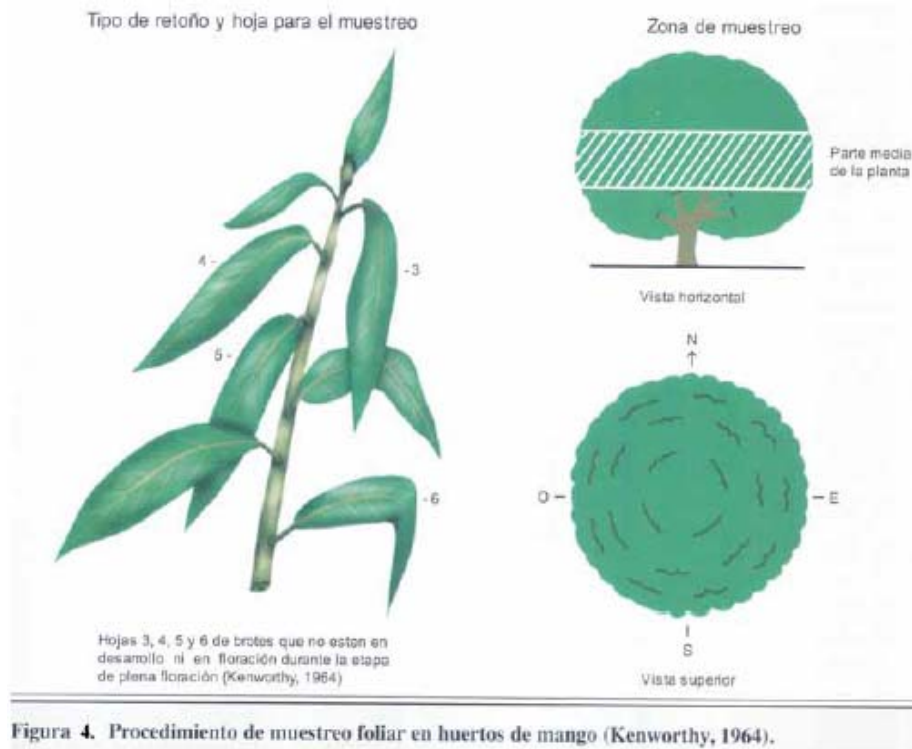
Nutriente	Épocas de muestreo					
	I*	II	III	IV	V	VI
	g / kg ⁻¹ de materia seca					
N	12.40	12.00	11.70	10.40	10.50	11.20
P	1.10	1.10	1.10	0.90	1.00	0.90
K	7.50	7.40	6.40	5.30	5.00	5.60
Ca	20.30	20.50	24.80	27.50	26.20	22.00

* I y II = antes de la floración. III = plena floración. IV = formación del fruto.
V = maduración del fruto. VI = frutos en cosecha.

6. Anexos ilustrados

Anexo 1. Zonas de Muestreo de Mango

Zona de Muestreo de Mango (1)



Zona de Muestreo de Mango (2)



Anexo 2. Zona de aplicación de Fertilizante

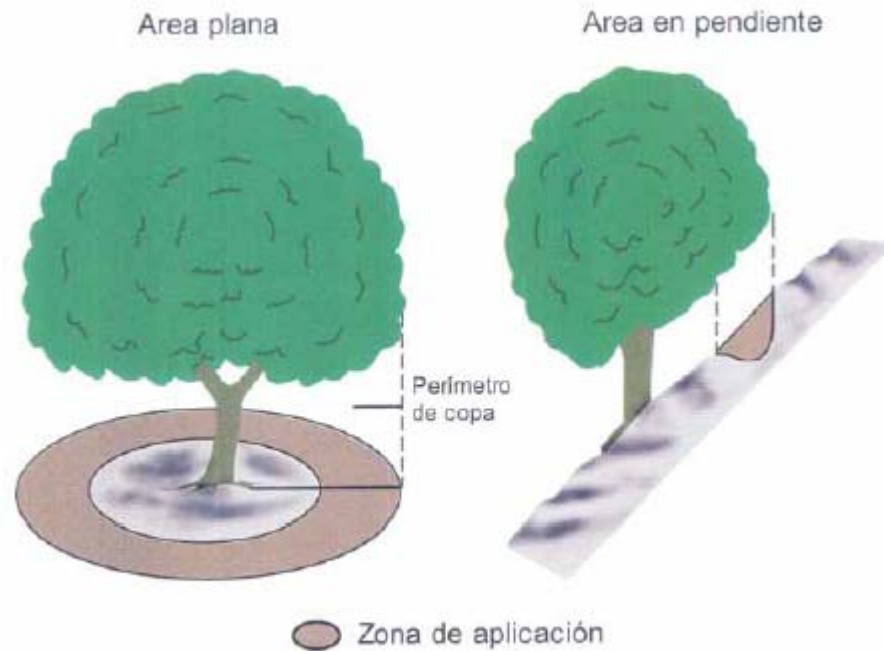


Figura 6. Zona de aplicación del fertilizante en mango.

Anexo 3.- Deficiencias Nutricionales de Mango

Deficiencias de Nitrógeno (N)



Foto 1. Deficiencia de N que se inicia en las hojas viejas como una clorosis uniforme del tejido.

Deficiencias de Potasio (K)



Foto 3. Síntoma de deficiencia de K en mango que se inicia en las hojas viejas como una clorosis y quemado de las puntas y filos de las hojas.

Deficiencias de Magnesio (Mg)



Foto 4. Síntomas de deficiencia de Mg que se presentan como clorosis a cada lado de la nervadura central y entre las nervaduras laterales.

Deficiencias de Azufre (S)



Foto 5. Síntomas típicos de deficiencia de S que se presentan en las hojas nuevas como una clorosis uniforme en toda la superficie.

Deficiencias de Boro (B)



Foto 6. Necrosis interna del fruto asociada con la deficiencia de B.

Deficiencias de Hierro (Fe)



Foto 7. Síntomas clásicos de deficiencia de Fe en mango. Las hojas nuevas toman color amarillento, pero las nervaduras permanecen verdes.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- Avilan, Luis. *Fertilización del Mango en el Trópico*. International Plant Nutrition Institute. www.ipni.net
- 2.- Mills, H. A. y J. B. Jones Jr. 1996. *Plant Analysis Handbook II*.
- 3.- Dr. Oscar F. Ruiz, *Analytical Labs*. 2011.
- 4.- *Manual de Agronomía, Laboratorios A-L de México*.
- 4.- CD de "Agricultura Razonada" Laboratorios A-L de México.



Agricultura Razonada®

West Analítica y Servicios S.A. de C.V.
Esmeralda No. 2847 Colonia Verde Valle
44550 Guadalajara, México
Teléfonos: (33)31231823, 31217925
Portal Web: www.westanalitica.com.mx
Correos: eaguilar@allabs.com
maldana@allabs.com mgarcia@allabs.com