

Capítulo III

Nutrición y fertilización

Álvaro de Jesús Tamayo Vélez

Los suelos de la zona andina en Colombia donde se cultiva mora son considerados de baja fertilidad, porque presentan contenidos bajos en nutrientes, desbalances nutricionales, así como pH fuertemente ácidos a moderados (4,6-5,5). Los contenidos de aluminio intercambiable son menores de 3 cmol/kg, que en ocasiones puede representar hasta el 60 % de las bases intercambiables (Tamayo & Osorio, 2014). En estas regiones, de clima frío, la materia orgánica (MO) desempeña un papel preponderante en las propiedades físicas, ya que genera suelos bien estructurados y estables; contrariamente, en la parte química la MO del suelo aporta poco nitrógeno, fósforo y azufre inorgánico, a pesar de que contribuye en forma notoria en la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Las aplicaciones de materia orgánica de rápida mineralización se han utilizado en este cultivo, debido a una mayor respuesta que la materia orgánica nativa del suelo (Marín, 1986).

Algunas características importantes de los suelos andisoles (de origen volcánico) es su alta capacidad de fijación de fosfatos y de cambio aniónico, que son responsables de los altos contenidos de alofana, esta arcilla es un mineral amorfo que presenta altos contenidos de aluminio; otra característica de estos suelos es que gran parte del potasio total es orgánico, porque la mineralización es muy baja (Tamayo & Osorio, 2014).

En la década del 70, para neutralizar la acidez del suelo, se aplicaban altas cantidades de cal agrícola, entre 20-30 t/ha. Por ello, debido a la alta lixiviación se pudo originar un desplazamiento de las bases intercambiables de la fracción arcillosa, hacia la solución del suelo; además, se amplió la relación de Ca/Mg, por tal razón es posible encontrar, en los cultivos, síntomas de deficiencia de K y Mg, así como pocas deficiencias en calcio (Tamayo & Osorio, 2014).

En cuanto a las propiedades físicas, los suelos presentan un horizonte rico en materia orgánica sobre un subsuelo pardo amarillento. Los horizontes siguientes son bajos en materia orgánica y de un color amarillento (figura 3.1); las propiedades físicas como la estructura, textura y la baja densidad aparente dieron origen a una porosidad total alta, buena distribución de macro y micro poros, lo que permite una buena retención de humedad y, por ende, un buen desarrollo del sistema radical. En este primer horizonte encontramos texturas medias como las francas, franco limosas y franco arcillosas. En general, son suelos que se dejan preparar, son friables y fáciles en la mecanización. Los horizontes más profundos (B y C) tienen más limitaciones físicas y, por ello, no permiten un buen desarrollo de las raíces a profundidades mayores de 50 cm. Este fenómeno es común en los suelos planos aluviales (Muñoz, 1998).



Foto: Álvaro Tamayo

Figura 3.1. Perfil de un suelo característico de la zona andina colombiana donde se cultiva mora.

Funciones que cumplen los elementos nutritivos en el metabolismo de las plantas

Las funciones de los elementos nutritivos han sido descritas por varios autores (Devlin, 1982; Marín, 1986; Guerrero, 1996; Salisbury & Ross, 1994), tal como se señala a continuación:

Nitrógeno (N)

El N es constituyente de la clorofila, los aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, isoenzimas y hexosaminas; es importante en la formación de tejido y de células nuevas (Mengel & Kirkby, 2000). El N contribuye en el crecimiento del tallo y las hojas, además interviene en la formación de frutos, y es uno de los elementos fundamentales en el crecimiento de las plantas (Salisbury & Ross, 1994).

Cuando hay un exceso de N hay crecimiento excesivo del follaje, se retarda la etapa de maduración del cultivo y tiene poco desarrollo el sistema radical, también se reduce la producción de compuestos fenólicos y de lignina, lo que disminuye la resistencia de la planta a patógenos obligados (Guerrero, 1996). En términos generales, el N ayuda en las actividades metabólicas y de síntesis de las células, que retardan la senescencia de la planta hospedera; igualmente, cuando se realizan aplicaciones excesivas de N se aumenta la concentración de amidas libres y de aminoácidos y azúcares, lo que podría favorecer el desarrollo de enfermedades y hasta el ataque de insectos plagas (Marschner, 2011).

Fósforo (P)

El P es constituyente de fosfolípidos, vitaminas, ácidos nucleicos, coenzimas, NAD y NADP y forma parte de la molécula de ATP, que es el compuesto almacenador de energía de la planta; por ello el P es considerado el elemento clave en la vida de los vegetales (Potash & Phosphate Institute [PPI], 1999). Además, este elemento es fundamental en el desarrollo de estructuras reproductivas (flores y frutos) y participa en la formación de triosas fosfatadas, que son la base para la síntesis de sacarosa y almidón en la planta, claves en la calidad comercial e industrial del producto (Taiz & Zeiger, 2010).

El P se requiere en etapas iniciales, en las regiones de crecimiento activo; así mismo, los cambios fenológicos como la floración y fructificación requieren de P, por lo cual este elemento es transferido de los sitios en donde se ha acumulado a los sitios de nuevo crecimiento (Osorio, 2014). Los andisoles son altamente fijadores de fosfato y se cree que este potencial de fijación depende de la presencia de los materiales que hay en la fracción arcillosa, como resultado de la meteorización de la ceniza volcánica, es así como suelos dominados por complejos de humus-aluminio tienen alto potencial de adsorber P; un arma complementaria, que ayudaría a estimar la capacidad de fijación de fosfatos en suelos andisoles. En estos suelos localizados por encima de 2.000 m s. n. m. se observa una mayor acumulación de materia orgánica, debido a su baja mineralización; en observaciones en suelos andisoles en Colombia y Ecuador se puede concluir que la fijación de P está estrechamente relacionada con los contenidos de carbono en estos suelos, sobre todo por los complejos de humus-Al (Ospina, 1974; Espinosa, 1996).

Potasio (K)

El potasio es un elemento muy móvil en la planta y en el suelo, es importante en el crecimiento y en el vigor de la planta, el cual es tomado en grandes cantidades; está envuelto en todos los procesos biológicos de la planta, pero a pesar de esto no forma parte de la estructura de los compuestos orgánicos. El K es un elemento que cataliza muchos procesos, entre ellos el de la fotosíntesis; es un activador de varias enzimas que intervienen en la síntesis de proteínas, regulador del potencial osmótico de las células, es decir, tiene que ver con la absorción y transporte de agua y otros nutrientes, la turgencia celular y es regulador de la apertura y cierre de estomas, de esta manera controla la transpiración (salida de agua en forma de vapor) y regula la temperatura de la planta (Salisbury & Ross, 1994).

Calcio (Ca)

El calcio es un constituyente de la lamela de las paredes celulares. Es requerido como un cofactor por algunas enzimas involucradas en la hidrólisis de ATP y fosfolípidos; igualmente, actúa como un mensajero secundario en la regulación metabólica. Da rigidez a los tejidos y a puntos de crecimiento nuevos (Marschner, 2011).

En la conservación y calidad de los frutos, el calcio es fundamental porque con contenidos altos de este elemento resisten más el transporte, ello debido a que es constituyente de la laminilla media, lo que le da al tejido vegetal firmeza, resistencia mecánica y protección frente a fitopatógenos e insectos plaga (Salisbury & Ross, 1994).

Magnesio (Mg)

El Mg es constituyente del núcleo central de la clorofila y, por lo tanto, es requerido en el proceso de la fotosíntesis. Entre otras funciones están la de servir de enlace entre el sustrato y la molécula en la síntesis de proteína, en combinación con el ATP; estabilizar partículas ribosómicas, y actuar como activador de enzimas involucradas en la síntesis de proteínas (Gil, 1995). Es un elemento móvil en la planta, por lo que su deficiencia se presenta primero en las hojas más viejas. Durante la floración y fecundación se produce una translocación significativa del magnesio hacia los brotes y frutos (Glass, 1989).

Azufre (S)

El S es un elemento esencial para el desarrollo vegetal. La cantidad requerida por las plantas es similar a la del P y el Mg. Las funciones del S en la planta cubren los procesos de fotosíntesis, síntesis de proteínas, síntesis de clorofila y fijación de N_2 . También se ha encontrado que el S hace parte de compuestos orgánicos responsables de los aromas de algunos productos agrícolas tales como el café, la cebolla, la mostaza y el repollo, entre otros. Igualmente, el S hace parte de la ferredoxina, una proteína presente en los cloroplastos y que participa en la reducción del nitrito y del sulfato en la asimilación del nitrógeno en los nódulos de las leguminosas asociadas con bacterias fijadoras de nitrógeno (Osorio, 2014)

Funciones de los micronutrientes

Los elementos micronutrientes son también llamados elementos menores, oligoelementos o elementos traza. Cualquiera que sea su designación, es incorrecto considerarlos de menor importancia que los otros elementos mayores.

Hierro (Fe)

Las principales funciones del hierro son como componente de citocromos, peroxidasa y ferredoxina, en los cuales es responsable de reacciones redox. El hierro es un constituyente de varias enzimas y algunos pigmentos; se cree que ayuda a reducir los sulfatos y nitratos a la producción de energía dentro de la planta. Aunque el hierro no se usa en la síntesis de la clorofila (el pigmento verde de las hojas), es esencial para su formación; por esta razón, la deficiencia de hierro se manifiesta

como una clorosis en las hojas nuevas. El papel más importante y quizás el más conocido es su participación en el metabolismo, como grupo prostético del sistema citocromo; también, como regulador de la actividad del sistema enzimático para la formación de la protoclorofila. De la misma forma, interviene en reacciones de óxido-reducción, tanto en hemoproteínas (citocromos, leghemoglobina, catalasa, peroxidasa, superóxido dismutasa), como en proteínas no-hémicas con enlace Fe-S, en ferredoxina y enzimas reductasa, nitrogenasa y sulfato y nitrito reductasa (Epstein & Bloom, 2005; Taiz & Zeiger, 2010; Marschner, 2011).

Manganeso (Mn)

El manganeso (Mn) es un importante micronutriente para las plantas y, después del hierro, es el que los vegetales requieren en mayor cantidad. Su función principal es la de ser activador de enzimas, esencial en la fotólisis del agua; también influye directamente sobre la fotosíntesis, participando en la formación de los cloroplastos. Es un componente importante de la biosíntesis de los ácidos grasos. Así mismo, se ha demostrado que influye en la reserva energética a través del control del metabolismo de carbohidratos (Taiz & Zeiger, 2010).

Igualmente, se cree que puede generar resistencia a la planta contra algunos patógenos al inhibir la enzima fentin-metilesterasa, la cual es la encargada de iniciar el proceso de la penetración del patógeno, además aumenta la formación de raíces laterales y activa el crecimiento de la planta al influir sobre el desarrollo y la extensión celular (Epstein & Bloom, 2005).

Cobre (Cu)

Entre las funciones principales del cobre están: ser componente de diversas enzimas que intervienen en la nutrición de las plantas como del citocromo oxidasa (respiración) y plastocianina (fotosíntesis), superóxido dismutasa (radicales O_2), fenol oxidasa (síntesis de lignina) y responsable de reacciones redox (Salisbury & Ross, 1994; Epstein & Bloom, 2005).

Zinc (Zn)

El zinc influye en muchos de los procesos metabólicos porque actúa como un cofactor enzimático en ciertas metaloproteínas, por medio de su activación, ya sea de forma inespecífica (enolasa/glucólisis) o específica (anhidrasa carbónica); así mismo,

puede actuar como componente de diferentes enzimas como la RNA polimerasa, la cual es responsable por la catalización de la síntesis del RNA influyendo así en la formación de proteínas; el zinc también cataliza la síntesis de la fructosa-6-fosfato, la cual es un importante metabolito de la glicólisis y por lo tanto de la fotosíntesis. Se ha determinado que también es esencial para la estabilidad de los ribosomas. De la misma manera, es requerido en la síntesis del ácido indol-3 acético a partir del triptófano, el cual es importante para regular el crecimiento de la planta (actividad auxínica). También activa de forma específica la enzima glutámico deshidrogenada que está relacionada con la asimilación del amonio (NH_4^+) (Salisbury & Ross, 1994; Barker & Pilbeam, 2015).

Molibdeno (Mo)

El molibdeno cumple una importante función en el intercambio de nitrógeno en las plantas y microorganismos, es componente de la nitrato-reductasa (reducción del NO_3^-) y de la nitrogenasa (reducción de N_2 en *Rhizobios*); capacita la fijación del nitrógeno por las bacterias nodulares (*Rhizobium*, *Azotobacter*) y otros microorganismos fijadores de nitrógeno, lo que aumenta la productividad de la fijación; conjuntamente participa en los procesos de reducción de los nitratos en células vegetales, influye en la síntesis de los aminoácidos y las proteínas, y de igual forma permite una mejor utilización del nitrógeno por las plantas (Salisbury & Ross, 1994; Barker & Pilbeam, 2015).

Boro (B)

Entre las principales funciones del boro están: participar en la germinación del polen y crecimiento de tubo polínico; en la estabilidad de la estructura de la pared celular por formación de enlaces cis-diol con compuestos orgánicos, lo que controla la movilidad del agua y nutrientes a través de los haces vasculares. Entre otras funciones, fomenta la formación de carbohidratos estabilizadores de la pared celular. Participa en la mejora de la estabilidad de la membrana celular y su funcionamiento. Interviene en los procesos enzimáticos de síntesis de sacarosa y almidón, así como en el transporte de compuestos asimilados en el interior de la planta activando el ATP y manteniendo la funcionalidad del floema. De la misma manera, regula la formación de RNA (Devlin, 1982; Salisbury & Ross, 1994; Willey, 2015).

Cloro (Cl)

Favorece la absorción del agua al aumentar el potencial osmótico celular. Neutraliza la presencia de cationes en alta concentración dentro del jugo celular (Kass, 1998). El cloro es un cofactor esencial en la fotosíntesis, ya que actúa junto al Mn en la fotólisis del agua; también se admite que el Cl favorece la turgencia de la planta. Entre otras funciones, el Cl se requiere para la activación, al menos, de tres enzimas (amilasa, asparagina sintetasa y ATPasa del tonoplasto); además, es adecuado para el proceso de osmosis en la planta, debido a la habilidad para moverse a través de membranas celulares, unido a su baja reactividad bioquímica. De la misma forma, tiene efecto sobre la reducción significativa o eliminación de los efectos producidos por al menos 15 enfermedades foliares y radicales en diez cultivos diferentes (Salisbury & Ross, 1994; Barker & Pilbeam, 2015; Willey, 2015).

Síntomas de deficiencias

Los síntomas de deficiencias de los nutrientes en las plantas han sido descritos por varios autores. A continuación, se describen algunos encontrados en el cultivo, que coinciden con los reportados por (Castaño, Morales & Obando, 2008).

Nitrógeno (N)

La deficiencia de este elemento se manifiesta por el color amarillo del follaje; las hojas inferiores (las más viejas) son las primeras en presentar los síntomas de deficiencia, lo que consiste en su amarilleamiento (figura 3.2a) y quemazón de los ápices y de la vena principal (figura 3.2b); además, se presentan pecíolos morados o rosados, crecimiento casi nulo de las ramas, tallos color rojo o púrpura y un pobre crecimiento y desarrollo de las plantas. La deficiencia de N reduce el contenido de agua en la planta y de ahí que sus síntomas sean parecidos a los de la falta de esta (Castaño et al., 2008).



Fotos: Álvaro Tamayo

Figura 3.2. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en mora. a. Amarillamiento de las hojas; b. Quemazón de ápice foliar.

Fósforo (P)

Su deficiencia retarda el crecimiento, produce coloración morada a rojiza de algunas hojas (figura 3.3), debido a que se acumula gran cantidad de azúcares en los tejidos, lo que ocasiona un notable aumento de los pigmentos morados llamados antocianinas. La deficiencia de P se manifiesta también por una producción de ramas látigo, hojas más débiles y quebradizas, y hojas viejas verde oscuro brillantes (Castaño et al., 2008).

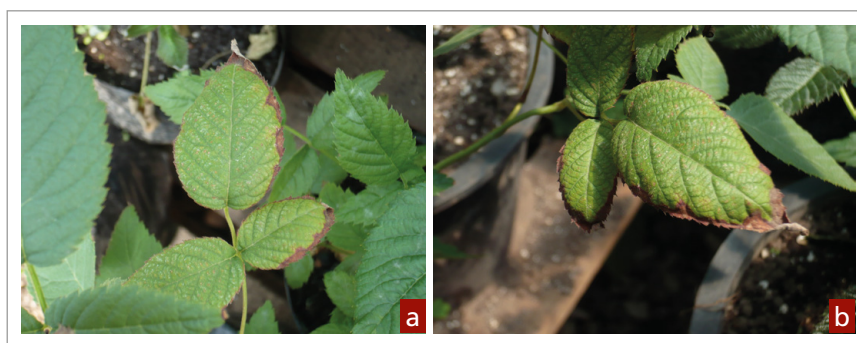


Foto: Álvaro Tamayo

Figura 3.3. Síntomas de deficiencia de fósforo en hojas de mora.

Potasio (K)

La deficiencia de K se observa primero en las hojas viejas que se entorchan hacia adentro, luego se amarillean y finalmente les aparecen las puntas quemadas a lo largo de los márgenes (figuras 3.4a y 3.4b); los entrenudos se hacen cortos y las hojas enrolladas, más aserradas que las normales, además, puede causar caída prematura de hojas y frutos (Castaño et al., 2008).



Fotos: Álvaro Tamayo

Figura 3.4. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas de mora. a Síntoma inicial de deficiencia; b. Encrespamiento de los bordes.

Calcio (Ca)

Los síntomas de deficiencia de Ca aparecen en las hojas más jóvenes y cerca de los puntos de crecimiento de tallos y raíces. La yema terminal muere y aparecen distorsiones en el ápice de las hojas jóvenes. El crecimiento de la planta se detiene, las hojas de los brotes se enroscan y comienzan a secarse por las puntas y los bordes. Hay sobreproducción de frutos pequeños, achaparramiento de las plantas, reducción del área foliar y pobre crecimiento y desarrollo (Castaño et al., 2008).

Magnesio (Mg)

El magnesio es un elemento de fácil translocación, por lo tanto, los síntomas visuales de su deficiencia se notan en las hojas viejas. Se observa como una clorosis intervenal a lo largo de la hoja y en los tejidos más viejos (figura 3.5), los folíolos toman un color amarillo pálido uniforme, luego un color pardo y finalmente mueren. Se presenta defoliación, las hojas nuevas se quedan pequeñas y se vuelven más susceptibles a enfermedades producidas por hongos, las espinas se tornan más finas (Castaño et al., 2008).



Foto: Álvaro Tamayo

Figura 3.5. Síntomas de deficiencia de magnesio en hojas de mora.

Boro (B)

Las deficiencias de B pueden ocurrir con más frecuencia cuando la planta está creciendo, floreciendo, fructificando o durante periodos de sequía. Las hojas más jóvenes son las primeras en manifestar la sintomatología de su carencia, presentan deformaciones y coloraciones amarillentas o pardas, con hojas quebradizas y pequeñas que se doblan fácilmente. Hay deformación de frutos, los cuales se tornan de aspecto rugoso, agrietados y alargados; se presenta muerte de tallos y de ápices de las raíces, y las hojas también muestran síntomas variados que incluye engrosamiento, marchitez, rizado y presencia de moteados cloróticos (Castaño et al., 2008).

Cobre (Cu)

Hojas deficientes en Cu son a menudo de color verde oscuro (alto contenido de clorofila y proteínas); sin embargo, la eficiencia fotosintética es baja (escasa producción de carbohidratos). La carencia de Cu hace que las hojas superiores o nuevas pierdan su turgencia y rigidez y se marchiten (Castaño et al., 2008).

Hierro (Fe)

Las plantas deficientes en Fe se caracterizan por desarrollar una clorosis intervenal pronunciada (figura 3.6), similar a la causada por la ausencia de Mg, pero se presenta en las hojas más jóvenes. La carencia de Fe también se puede confundir fácilmente con la de Mn, pero la clorosis intervenal causada por la deficiencia de Fe es a menudo más clara que la ocasionada por la de Mn (Castaño et al., 2008).



Foto: Álvaro Tamayo

Figura 3.6. Síntomas de deficiencia de hierro en hojas de mora.

Manganeso (Mn)

La deficiencia de Mn produce clorosis en el tejido intervenal de las hojas más jóvenes, las venas permanecen verdes oscuras aun cuando el tejido llegue a la necrosis (Castaño et al., 2008).

Molibdeno (Mo)

Los síntomas visibles de deficiencia de Mo pueden empezar con un moteado entre las nervaduras de las hojas inferiores, seguido por clorosis marginal y la curvatura de las mismas (Castaño et al., 2008).

Zinc (Zn)

La deficiencia de Zn se manifiesta generalmente como clorosis intervenal, malformación y reducción del tamaño de brotes y hojas. Los márgenes foliares con frecuencia presentan distorsiones y pliegues. Las hojas se tornan estrechas y puntiagudas, y hay reducción de la longitud de los entrenudos (Castaño et al., 2008).

De acuerdo con el estudio realizado por Castaño et al. (2008) en soluciones nutritivas, se concluye que:

1. El Ca es el elemento que más limita el crecimiento y desarrollo de la planta de mora.
2. La ausencia de Ca limita la asimilación de N, P, Mg y Zn.
3. La ausencia de Mg incrementa los contenidos de materia seca en las plantas de mora.
4. La ausencia de N incrementa los contenidos foliares de Mg.
5. La ausencia de B permite un incremento en el contenido de K.
6. Las plantas con deficiencia en P se estimulan a producir muchas ramas no productivas, lo cual incrementa costos en las podas y agotan la planta.

Nutrición en el cultivo

Para la nutrición en el cultivo es necesario tener en cuenta varios aspectos como la toma de muestras de suelos, su interpretación y las recomendaciones de fertilización que pueden ser según las fuentes, química y biológica u orgánica.

Toma de muestras del suelo

El objetivo del diagnóstico químico de la fertilidad del suelo es poder conocer su potencial de producción agrícola y así determinar la necesidad de aplicar fertilizantes; en este orden de ideas, el proceso comienza con un adecuado muestreo del suelo, en el cual se aspira tomar una muestra que sea representativa del terreno. Por lo tanto, deben delimitarse unidades de muestreo que sean homogéneas (Tamayo & Osorio, 2014).

Es importante para el muestreo tener en cuenta los cambios que presente el suelo en apariencia, producción, cantidad de erosión, clase de drenaje, tipo de suelo y tratamientos agrícolas en los últimos años; de acuerdo con lo anterior, se divide el lote en las áreas que contemplan estas variaciones. Hay que evitar aquellos sitios que difieren mucho del resto del campo; si se desea obtener información acerca de estas

áreas, es necesario tomar una muestra individual. No deben tomarse muestras en sitios donde se hayan realizado quemas o en zonas con estiércol, residuos de cosecha, abonos, cal, saladeros, cerca de carreteras, construcciones, áreas de antiguos canales y en los existentes, cercas, áreas con cambios abruptos de pendiente y parches salinos, que no correspondan a las características promedio del lote (Ramírez et al., 2008).

En las fincas es común tener diferentes tipos de suelos, por lo tanto, es importante identificarlos y definir sus límites. Es así que cada tipo de suelo se considera como un terreno homogéneo y se debe identificar de acuerdo con características como la pendiente, el material parental, el uso, el manejo, entre otras. El cambio de estas condiciones coincide normalmente con los límites de cada unidad de muestreo (Tamayo & Osorio, 2014).

Cuando los cultivos de mora ya están establecidos, las muestras deben tomarse de lotes que sean uniformes, ya sea por el tipo del suelo, el manejo, la edad de la planta o el nivel de producción que se tiene. Una manera común del muestreo es caminar el lote, ya sea en zigzag o en forma de X, para tomar una submuestra en cada vértice donde se cambia la dirección del recorrido (figura 3.7). Puede usarse cualquier otra forma sistemática de muestreo, tratando de cubrir adecuadamente el campo y acomodándose a las condiciones particulares de cada huerto.

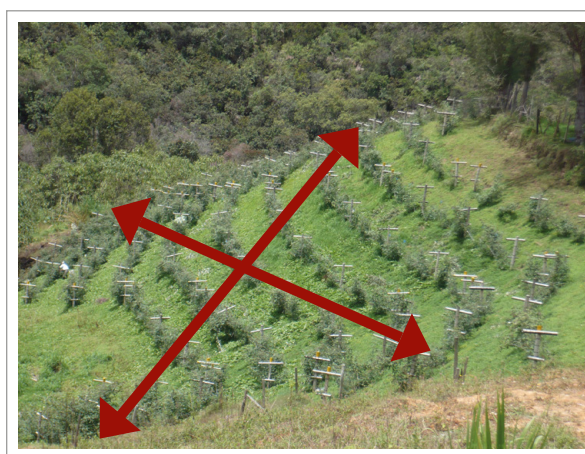


Foto: Álvaro Tamayo

Figura 3.7. Esquema de muestreo para el análisis de suelo en un cultivo de mora.

En cada planta seleccionada se eligen de dos a cuatro sitios equidistantes de muestreo que se ubican debajo de ella, en la zona comprendida entre la mitad del radio medio de la copa y la proyección externa de la misma, como se indica en la figura 3.8.

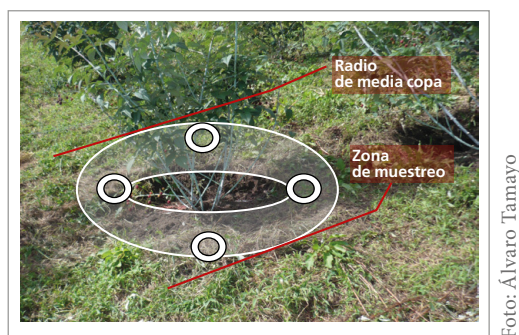


Figura 3.8. Zona de muestreo.

La aplicación de nutrientes en mora debe estar basada en el análisis del suelo y la extracción de este; esto ayuda a obtener el mayor beneficio agronómico y económico de la aplicación de los fertilizantes. La localización de los abonos alrededor de la planta se debe hacer considerando la ubicación de la mayor cantidad de raíces activas y de la inclinación del terreno; así, en terrenos inclinados o de ladera se aplica en semicorona en la parte superior (figura 3.9a), y en terrenos planos el fertilizante se aplica en corona, alrededor de la planta (figura 3.9b).



Figura 3.9. Zona de aplicación del fertilizante en mora. a. En semicorona en zonas de ladera; b. En corona en zonas planas.

Fertilización química

La mora de Castilla se desarrolla mejor en suelos franco arcillosos, ya que permiten una adecuada reserva de agua y en los cuales su exceso puede ser evacuado fácilmente. Se recomiendan para su siembra suelos con alto contenido de materia orgánica, ricos en fósforo y potasio. Se debe mantener una adecuada relación Ca:Mg:K de 2:1:1, respectivamente, ya que junto con el B son responsables de la producción y la calidad de la fruta, así como de la tolerancia a factores bióticos y abióticos (Ramírez et al., 2008).

La fertilización, especialmente la fosfórica, es uno de los aspectos a tener en cuenta, ya que los suelos de las regiones productoras de mora generalmente son de origen volcánico (andisoles) y, por lo tanto, algunas de sus propiedades se relacionan con bajos contenidos de P y altos niveles de fijación de este importante elemento (Tamayo & Osorio, 2014).

Los mayores requerimientos nutricionales de plantas de mora se relacionan con el N y el K; sin embargo, elementos menores como Fe, Cu, Zn, Mn y B cumplen importantes funciones en la planta y su deficiencia afecta la producción y la calidad de la fruta (Ramírez et al., 2008). Recientes investigaciones realizadas por Bertsch (2003), en Costa Rica, muestran que por cada tonelada de fruta fresca cosechada se requieren de 1,2 a 2,6 kg/ha de P, 1,9 a 2,7 kg/ha de K, 0,4 a 1,0 kg/ha de Ca y 0,3 a 0,5 kg/ha de Mg.

El uso de los fertilizantes está supeditado a los análisis de suelo y foliares. Es preferible dividir las aplicaciones anuales en cuatro o cinco, para evitar la pérdida de fertilizante y posibles quemazones en la planta. Elementos menores como el B se aplican en aspersiones por lo menos dos veces al año, el Mg puede ser adicionado en forma de sulfato de magnesio o como cal dolomítica. Las aplicaciones de fertilizantes foliares son aconsejables para inducir floración y emisión de rebrotes (Silva, 1989).

La fertilización en el cultivo de la mora en Colombia ha sido muy empírica, numerosos autores han realizado recomendaciones basados en estudios y otras, en aplicaciones generales, pues no se han realizado trabajos de investigación que den a conocer con certeza los requerimientos nutricionales del cultivo. En trabajos adelantados en los departamentos de Caldas, Risaralda y Antioquia, se ha encontrado que los niveles de fertilización en el cultivo son realmente bajos y se realizan sin ningún criterio técnico. Comúnmente, los agricultores hacen aplicaciones de abono orgánico al

momento de la siembra y en la etapa de desarrollo, de urea y de fórmulas compuestas como 15-15-15 o 10-30-10, labor que no daría solución a los reales requerimientos del cultivo (Ríos, Muñoz, Franco, & Rodríguez, 1996).

A continuación, se citan algunos trabajos realizados por diferentes autores como Osorio (1977), quien recomienda que, para mantener los niveles apropiados de P y K, se debe emplear un abono completo como el triple 14, el triple 15 o el 10-20-10, en dosis de 70 g/planta, cada cuatro meses, cuando las plantas empiezan a florecer y a formar los racimos. En cambio, Marín (1986), citado por Gaviria, Gómez y Vallejo (1994), en un experimento de fertilización sobre *Rubus laciniatus*, en un suelo con K bajo y P adecuado, con aplicaciones de N y K entre 67 y 135 kg/ha/año, encontraron que la dosis de 67 kg produjo el mayor rendimiento, con un incremento de 2,4 t/ha sobre el testigo (sin N y sin K).

Tamayo e Hincapié (2001) evaluaron el efecto de la fertilización química sobre la producción de frutos en plantas de mora de Castilla, en dosis crecientes de nitrógeno y potasio, de 110, 160 y 210 kg/ha/año cada uno, y una dosis constante de fósforo de 110 kg/ha. Las aplicaciones fueron fraccionadas cada dos meses. En 18 meses de evaluación no se encontraron diferencias estadísticas en la producción entre las dosis de N y K aplicadas. La mayor producción para el primer año de cosecha fue de 12,8 t/ha, cuando se aplicaron 160-110-160-30 kg/ha de N, P_2O_5 , K_2O y bórax, respectivamente. Igualmente, sin adicionar bórax, la producción fue de 12,3 t/ha de fruta fresca. Cuando se adicionaron 4 t/ha de gallinaza, en mezcla con 160-110-160 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente, no presentaron diferencias estadísticas, obteniéndose una producción de 12,2 t/ha de fruta. Cuando se aplicaron las máximas dosis de N y K (210 kg/ha), los rendimientos decrecieron. Largo y López (2015), en un cultivo de mora sin espinas, localizado en el municipio de Belén de Umbria, Risaralda, Colombia, encontraron que los rendimientos óptimos se logran con aplicaciones de 150 kg/ha/año de N, 90 kg/ha/año de P_2O_5 y 160 kg/ha/año de K_2O .

Franco, Gallego, Tamayo, Heredia y Medina (1999) evaluaron el efecto de la fertilización química y orgánica sobre la producción de fruta en zonas de clima frío moderado del departamento de Caldas. Luego de dos años de evaluación se encontraron diferencias altamente significativas entre los distintos tratamientos estudiados, con un máximo rendimiento promedio de 13,3 t/ha/año, obtenido con el tratamiento 120-40-120 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. En términos generales, se observó una respuesta positiva del cultivo hacia la fertilización con niveles altos de N y K (120 kg/ha). Con relación a la fertilización orgánica del cultivo

con gallinaza y lombricomposto, la respuesta de este no fue muy consistente. En estudios realizados por Artunduaga (2010) en el departamento del Quindío, en suelos andisoles, se encontró que los ecotipos de mora sin espinas tuvieron mayor eficiencia agronómica con 91,7 kg de rendimiento por kg de N y 91,7 kg, por kg de P aplicado.

Silva (1989) aconseja aplicar 150 g de una mezcla de sulfato de amonio y sulfato de potasio, dos veces al año (marzo-septiembre) y 100 g de la misma mezcla dos veces al año (junio-diciembre). De manera general, se puede fertilizar como se menciona a continuación: utilizar 15-15-15 o 10-30-10, en dosis de 120 a 150 g/planta, cada 3 o 4 meses; de 25 a 40 g/planta de agrimins, cada 6 meses; de 10 a 20 g/planta de bórax, una vez al año y de 1 a 2 kg/planta/año de abono orgánico.

Por su parte, Rodríguez y Duarte (1977) recomiendan que al inicio de la preparación del terreno se debe aplicar gallinaza o cualquier otro abono orgánico (5 t/ha), y cada seis meses 350 kg/ha de 10-30-10, 14-14-14 o 10-20-20.

Bonnet (1988), propone otro esquema de fertilización donde recomienda que al momento de la siembra se deben aplicar 75 g de 10-30-10 incorporados en el suelo para el llenado del hoyo y, como complemento, aplicar 200-250 g/planta de un abono completo (15-15-15, 10-30-10 o 10-20-20), en dos a cuatro aplicaciones, especialmente cuando las plantas empiecen a florecer y a formar racimos.

Cardona (2017) estimó los requerimientos del cultivo en 237,0 – 135,3 – 261,6 – 241,3 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO en su orden, con lo cual obtuvo producciones del orden de las 28 t ha⁻¹. También encontró una relación directa entre la fertilización con calcio y mayor firmeza de la fruta debido a la función de este elemento en la formación de la pared celular.

Con base en los trabajos de Franco et al. (1999), Tamayo e Hincapié (2001) y Cardona (2017), se puede sugerir el siguiente plan de fertilización para el cultivo:

- Antes de la siembra y según los resultados del análisis de suelos, aplicar cal dolomítica o calfos 200 g/planta.
- Cada dos meses, hasta la floración, aplicar en g/planta 20 de N, 30 de P₂O₅ y 20 de KCl.
- Después de floración y cada dos meses aplicar en g/planta 30 de N, 20 de P₂O₅ y 30 de KCl y 30 de CaO.
- Cada seis meses se deben aplicar elementos menores de 30 a 40 g/planta; y anualmente 2 kg/planta de materia orgánica.

Los fertilizantes biológicos

En condiciones naturales la mayoría de las plantas tropicales se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, los cuales mejoran la disponibilidad de nutrientes, ayudan en la descomposición de la materia orgánica, realizan procesos de fijación biológica del N (simbiótica y asimbiótica), mejoran la absorción de nutrientes por las plantas, contribuyen con la solubilización de nutrientes poco solubles como P, acondicionan el pH, mejoran la estructura y estabilidad de los agregados, ofrecen protección a las plantas frente a microorganismos fitopatógenos y en general, disminuyen los niveles de fertilización química (Ramírez et al., 2008).

Un biofertilizante es un producto biológico que contiene microorganismos benéficos del suelo, que al ser inoculado en este o en la semilla favorece los procesos de nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas, mediante diversos mecanismos: incrementa la disponibilidad de nutrientes (solubilizadores de P, fijadores de N), mejora la eficiencia de toma, transporte y absorción de nutrientes (micorrizas) y sustituye nutrientes esenciales (fijación de N). En algunos casos, estos microorganismos favorecen procesos de crecimiento y desarrollo o control de plagas. Según el Instituto Colombiano Agropecuario [ICA] (2004), un inoculante biológico se define “como un producto elaborado con base en una o más cepas de microorganismos benéficos, que al aplicarse al suelo o semillas, promueve el crecimiento vegetal”, (Resolución 00375 del 27 de febrero de 2004). También pueden estar en este grupo los solubilizadores de nutrientes o en su defecto productos ya acabados y elaborados como las micorrizas, bacterias promotoras del crecimiento vegetal y los hongos solubilizadores de fósforo como el *Mortierella* sp. Otros autores definen al inoculante biológico como una mezcla de microorganismos que podrían sustituir, ya sea parcialmente o totalmente, la fertilización de síntesis química (Vassilev, Vassileva, Azcon, & Medina, 2001).

Las tecnologías de biofertilización o fertilización biológica son estrategias para el manejo de la nutrición y protección de cultivos, su adecuada utilización debe considerar otras prácticas de fertilización (orgánica y química) para garantizar la competitividad, mediante la sustitución de fertilizantes químicos de síntesis por fertilizantes biológicos, orgánicos y minerales de menor costo, lo que genera la reducción de los costos de producción, aumentos en la productividad y, especialmente, mejoramiento de la calidad del fruto y el acceso a los mercados (Ramírez et al., 2008).

Los biofertilizantes se pueden aplicar en suelos degradados y donde la presencia de microorganismos ha sido afectada negativamente por el uso inapropiado de técnicas agrícolas, que han propiciado la degradación del suelo y han reducido su diversidad y efectividad (Salamanca, 2002).

Resumiendo, los biofertilizantes se pueden aplicar bajo diferentes condiciones como cuando el suelo presenta bajos contenidos de determinado elemento, cuando las poblaciones de ciertos microorganismos son muy bajas o poco efectivas o que, por manejos antropogénicos de los suelos, han causado degradación de los mismos (Ramírez et al., 2008).

En las dos últimas décadas, en el país se ha evaluado la respuesta de los biofertilizantes que involucran microorganismos como fijadores de nitrógeno ya sea simbióticos o no simbióticos, solubilizadores de fósforo y algunos nutrientes, formadores de micorrizas, entre otros que contribuyen con la absorción de agua y nutrientes en el suelo. Algunos resultados indican que la inoculación simple con hongos formadores de micorrizas (*Glomus* sp. y *Acaulospora* sp.) mostró un efecto benéfico en plántulas de mora similar a la fertilización comercial, expresado en materia fresca, materia seca y porte de la planta. Es decir que la sola inoculación simple (micorriza arbuscular + 50 % de la fertilización química convencional) permite sustituir la mitad del abonamiento con P; mientras que los tratamientos con inoculación con bacterias solubilizadoras de fósforo, *Azotobacter* y 50 % fertilización química y micorriza mostraron tamaño de planta intermedio entre los tratamientos con fertilización convencional y sin fertilización, y similares cuando se aplicó la mitad de la fertilización convencional. Los biofertilizantes pueden sustituir hasta un 50 % de la fertilización química, esto contribuye a disminuir los costos de producción, por menor uso de fertilizantes de síntesis. En general, el uso de estos bioinsumos en agricultura contribuye con el enfoque de inocuidad en el cultivo de la mora (Ramírez et al., 2008).

Referencias

- Artunduaga, B. (2010). *Efecto de la fertilización en dos ecotipos de mora (Rubus sp.) y su relación con el rendimiento en andisoles* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.
- Barker, A. & Pilbeam, D. (2015). *Handbook of plant nutrition* (2.^a ed.). Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.

- Bertsch, H. F. (2003). *Absorción de nutrientes por los cultivos*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Bonnet, A. J. (1988). Mora. En *Memorias del Curso de Frutales de Clima Frío Moderado*. Fusagasugá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Cardona, W. (2017). *Requerimientos nutricionales (nitrógeno, fósforo, potasio y calcio) en etapa vegetativa y reproductiva de un cultivo de mora (Rubus glaucus Benth.), ubicado en el municipio de Silvania (Cundinamarca)* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Castaño, C., Morales, C., & Obando, F. (2008). Evaluación de las deficiencias nutricionales en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus*) en condiciones controladas para bosque montano bajo. *Agronomía*, 16, 75-88.
- Devlin, R. (1982). *Fisiología vegetal* (4.^a ed.). Barcelona, España: Omega.
- Epstein, E., & Bloom, A. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives* (2.^a ed.). Massachusetts, Estados Unidos: Sinauer Associates.
- Espinosa, J. (1996). *Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica* (Informaciones Agronómicas N.º 23). Quito, Ecuador: Instituto de la potasa y el fósforo (Inpofos).
- Franco, G., Gallego, J., Tamayo, A., Heredia, G., & Medina, G. (1999). Fertilización de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en zonas de clima frío moderado del departamento de Caldas. En *Memorias del III Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado*. Manizales, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales.
- Gaviria, V., Gómez, S., & Vallejo, G. (1994). Respuesta de la mora de Castilla a la fertilización con nitrato de potasio. *Suelos Ecuatoriales* 24, 7-9.
- Gil, F. (1995). *Elementos de fisiología vegetal*. Madrid, España: Mundi-Prensa Libros, S.A.
- Glass, A. (1989). *Plant nutrition. An introduction to current concepts*. Boston, Estados Unidos: Jones & Bartlett Publishers Inc.
- Guerrero, R. R. (1996). *Fertilización de cultivos de clima cálido*. Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2004). *Registro y control de los bioinsumos y extractos vegetales de uso agrícola en Colombia*, Resolución 00375 (Febrero 27 2004). Bogotá, Colombia: ICA.
- Kass, D. (1998). *Fertilidad de suelo*. San José, Costa Rica: Euned.
- Largo, M., & López, L. (2015). *Aproximación a la calibración de análisis de suelos para N, P y K, en el cultivo de mora sin tuna (Rubus glaucus Benth.) en el municipio de Belén de Umbría, Risaralda* (Tesis de pregrado). Corporación Universitaria Santa Rosa de Cabal, Santa Rosa de Cabal, Colombia.

- Marín, J. (1986). *Fertilidad de suelos con énfasis en Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3.^a ed.). Londres, Reino Unido: Elsevier.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal* (4.^a ed.). Basel, Suiza: International Potash Institute.
- Muñoz, R. (Ed.). (1998). Fertilización de la papa en Colombia. En R. Guerrero (Ed.). *Fertilización de cultivos de clima frío* (2.^a ed., pp. 47-67). Bogotá, Colombia: Monómeros Colombo Venezolanos S. A.
- Osorio, J. (1977). Cómo cultivar mora. *ICA Informa*, 11(11), 7-20.
- Osorio, N. W. (2014). *Manejo de nutrientes en suelos del trópico* (2.^a ed.). Medellín, Colombia: L. Vieco S.A.S.
- Ospina, O. (1974). El fósforo en los Andisoles. *Suelos Ecuatoriales*, 6(1), 97-136.
- Potash & Phosphate Institute (PPI). (1999). *Better crops with plant food*. Gwinnett, Estados Unidos: Potash & Phosphate Institute Eds.
- Ramírez, M., Roveda, G., Bonilla, R., Cabra, L., Peñaranda, A., López, M., ... Díaz, A. (2008). *Uso de microorganismos con potencial como biofertilizantes en el cultivo de mora*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Ríos, G., Muñoz, C., Franco, G., & Rodríguez, J. (1996). Caracterización del sistema de producción de mora en los municipios de Quinchía, Guática (Risaralda) y Riosucio (Caldas). En *Memorias del I Seminario Frutales de Clima Frío Moderado*. Manizales, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Rodríguez, E., & Duarte, J. (1977). Mora de Castilla. En R. Salazar (Ed.), *Frutales. Manual de Asistencia Técnica N° 4* (2.^a ed., t. II, pp. 397-420.). Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Salamanca, C. (2002). *La biofertilización: una alternativa económica para la nutrición de la soya en el Piedemonte Llanero* (Boletín técnico N.º 31). Villavicencio, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Salisbury, F., & Ross, C. (1994). *Fisiología vegetal*. México: Grupo Editorial Iberoamericana.
- Silva, O. (1989). *Efecto de tres reguladores de crecimiento en el enraizamiento de estacas de mora (Rubus glaucus Benth.)* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5.^a ed.). Massachusetts, Estados Unidos: Sinauer Associates Inc.
- Tamayo, A., & Hincapié, M. (2001). Fertilización de la mora de Castilla en clima frío moderado del departamento de Antioquia. *Suelos Ecuatoriales*, 31(1), 1-6.
- Tamayo, A., & Osorio, W. (2014). Nutrición y fertilización. En J. Bernal, & C. Díaz (Eds.). *Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (bpa) en el cultivo de aguacate* (pp. 182-212). Medellín, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Vassilev, N., Vassileva, M., Azcon, R., & Medina, A. (2001). Application of free and Ca-alginate-entrapped *Glomus deserticola* and *Yarrowia lipolytica* in a soil-plant system. *Journal of Biotechnology*, 91(2-3), 237-242.
- Willey, N. (2015). *Environmental plant physiology*. Londres, Reino Unido: Garland Science, Taylor & Francis Group, LLC.