

## El cultivo de la mora en el Ecuador

Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Fruticultura



# **EL CULTIVO DE LA MORA EN ECUADOR**

**2016**



---

# PRESENTACIÓN

---

## PRESENTACIÓN

El Ecuador, posee una gran diversidad de ecosistemas y recursos fitogenéticos que deben ser aprovechados de manera sostenible para contribuir a la seguridad alimentaria de la población y al cambio de matriz productiva. Para ello, es importante el apoyo permanente a la investigación agrícola que es la base para la innovación y desarrollo de nuevas tecnologías que mejoren la producción y productividad, no solo de materias primas, sino de productos agroindustriales y otros con valor agregado, que permiten satisfacer la demanda de los mercados nacional e internacional.

La mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth), originaria de la región andina, es un frutal que ha sido cultivado tradicionalmente por los ecuatorianos, principalmente pequeños y medianos productores de la sierra, y ha contribuido de manera importante en la generación de recursos económicos y mejoramiento del nivel de vida de los mismos, debido a la creciente demanda y rentabilidad del cultivo.

Para mantener la competitividad y el mejoramiento continuo del cultivo de mora, es necesario dar respuesta y soluciones a los diferentes limitantes que el productor enfrenta en el día a día, ya sean estos de índole varietal, sanitario, nutricional o comercial; por ello, es importante contar con un plan de investigación amplio, que involucre diversas áreas y líneas de investigación y sea ejecutado por equipos interdisciplinarios e interinstitucionales, cuyos resultados sean puestos a disposición de los técnicos de transferencia de tecnología, y éstos a su vez los difundan a productores y estudiantes a través de cursos de capacitación y publicaciones.

Conscientes de la necesidad que para emprender cualquier proceso de capacitación, se requiere de un documento que reúna la información de los resultados de la investigación y experiencias en el manejo de este frutal, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias- (INIAP), a través del Programa Nacional de Fruticultura y los Departamentos de Suelos y Aguas, Nutrición y Calidad, Protección Vegetal de la Estación Experimental Santa Catalina, pone a disposición de los diferentes actores de la cadena de producción de la mora, el libro **“El cultivo de la mora en Ecuador”**, mismo que consta de 8 capítulos que abarcan información referente a su origen, taxonomía, variedades y clones, comportamiento fisiológico, multiplicación, plantación, prácticas de manejo relacionadas con la poda, sistemas de conducción, riego y nutrición, control de plagas, y poscosecha y comercialización.

Estamos seguros que este libro contribuirá de manera importante a ampliar el conocimiento sobre este frutal y será un aporte para los profesionales ligados al sector frutícola, además de fuente de consulta permanente, para quienes tienen establecidos huertos de mora, y aquellos que desean iniciar nuevos emprendimientos en este rubro rentable.



---

# INTRODUCCIÓN

---

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador, es un país mega diverso y lugar de origen de varias especies frutícolas, lo cual es una ventaja comparativa importante, que debe ser aprovechada y fortalecida para mejorar la competitividad dentro de un contexto global de la economía, apertura de mercados e integración actuales. Para ello, es importante la diversificación y priorización de rubros que tengan una alta demanda nacional e internacional y contribuyan a la generación de empleo, recursos económicos a los productores e ingresos de divisas al país.

Los frutales andinos, como la mora de Castilla, son una alternativa de producción interesante, ya que se verifica a nivel mundial el incremento permanente de la demanda de frutas por los múltiples beneficios a la salud humana por sus aportes de vitaminas, minerales, antioxidantes, entre otros.

En el país se reportan alrededor de 5 000 ha de mora, que involucran de manera directa a cerca de 15 000 pequeños y medianos productores de la sierra, los cuales obtienen rendimientos promedio de 5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> producto de un nivel tecnológico bajo, que debe ser mejorado a través de programas integrales que involucren el desarrollo tecnológico, infraestructura de riego, fortalecimiento de los sistemas de transferencia de tecnología, facilidades de crédito, organización y apoyo a productores y agroindustriales para la comercialización.

Investigaciones desarrolladas por el Programa de Fruticultura del INIAP, y huertos de productores de mora con cierto nivel tecnológico han permitido determinar la factibilidad de incrementar y obtener rendimientos entre 8 a 10 t ha<sup>-1</sup> que representaría un aumento de los volúmenes de producción del 60 al 100 %. Para ello, es importante la incorporación de nuevas variedades como la INIAP-Andimora-2013, mejorar el manejo de la nutrición y riego del cultivo, así como el manejo integrado de plagas y sistemas de conducción y poda adecuados.

La fruta de mora producida en el país es comercializada preferentemente en el mercado local, aunque existe mucho interés por exportarla en fresco y procesada con valor agregado a países demandantes como: Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Alemania, Francia, Austria, Italia, Holanda, Bélgica, y Japón, por lo que la firma de acuerdos comerciales debidamente negociados, facilitarán la apertura de estos potenciales mercados.

La producción de mora, tanto para el mercado nacional como internacional, requiere la implementación de prácticas acordes al manejo racional de los recursos naturales, la inocuidad de los productos frescos y procesados que garanticen su calidad, y que a la vez permitan que el cultivo sea económicamente rentable para los productores y posibilite la incorporación de las nuevas tecnologías generadas para la producción integrada del cultivo.

La elaboración de un documento que recopile los resultados de las investigaciones generadas por el INIAP, las experiencias de productores nacionales e información escrita por la comunidad científica adaptada a nuestra realidad, se constituye en un aporte importante para que sirva de apoyo y guía para el mejoramiento continuo del cultivo de mora, que dará como resultado el incremento de la producción, productividad y calidad de la fruta.

## CAPÍTULO 5

### NUTRICIÓN DEL CULTIVO DE LA MORA DE CASTILLA

Franklin Valverde<sup>1</sup>, Antonio González<sup>2</sup>, Pablo Viteri<sup>3</sup>, Aníbal Martínez<sup>4</sup>

La nutrición mineral y orgánica de las plantas constituye uno de los pilares fundamentales para incrementar la productividad, maximizando el potencial genético del cultivo (IPNI, 1997). Para ello, es necesario crear condiciones ideales de nutrición para la mora de Castilla y controlarlas durante su desarrollo, tomando en consideración que la mora al ser un frutal de producción permanente, requiere de un abastecimiento continuo de nutrientes, que deben ser distribuidos en las diferentes fases fenológicas del cultivo y de cosecha a cosecha.

Los propósitos del manejo integral de la nutrición vegetal incluyen el diagnóstico, verificación, corrección, confirmación de síntomas (planta) y seguimiento del cultivo en las diferentes fases fenológicas.

#### 5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO

Las características físico-químicas del suelo influyen de manera directa en el crecimiento y desarrollo de la mora de Castilla, así las características físicas (textura, estructura, densidad aparente, profundidad, entre otras) determinan el desarrollo de raíces y capacidad de retención de agua para el cultivo. Respecto a las características químicas (pH, capacidad de intercambio catiónico, contenido de nutrientes, relaciones entre nutrientes), éstas determinan la disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento y producción, y en algunos casos problemas de toxicidad por presencia de algún elemento que provoca problemas para el cultivo.

La mora de Castilla se desarrolla mejor en suelos franco arenosos o franco arcillosos, con alto contenido de materia orgánica y ricos en fósforo y potasio. El pH es una característica del suelo que define la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Figura 5.1), la mora se adapta bien a valores de pH entre 5,5 a 6,5 moderadamente ácido; 5,7 es el óptimo para el cultivo (Sánchez, 2009).

La disponibilidad de agua debe ser suficiente y bien distribuida durante el año. En casos de insuficiencia de agua, los frutos que se producen son de mala calidad, no crecen, desarrollan un color desagradable y contienen poca dulzura (Córdova, 1999). En zonas donde la mora crece en suelos arcillosos y existen altas precipitaciones durante todo el año o se concentran en cierta época del año, se debe estar provisto de buen drenaje o construir canales que eviten la acumulación de agua en el suelo y se permita la aireación del sistema radical.

1 Investigador INIAP - Departamento de Suelos y Aguas - Estación Experimental Santa Catalina.

2 Especialista en Suelos y Nutrición, MSc. en Fisiología.

3 Investigador INIAP - Programa Nacional de Fruticultura - Granja Experimental Tumbaco.

4 Investigador INIAP - Programa Nacional de Fruticultura - Granja Experimental Pillaro.

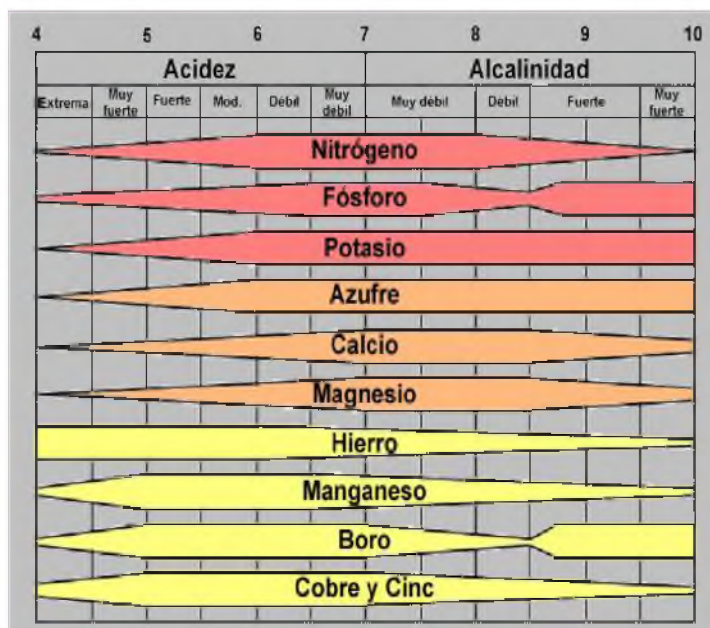


Figura 5.1. Disponibilidad de nutrientes en función del pH del suelo.

Fuente: IPNI, 1997

### 5.1.1 Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS), está compuesta por residuos vegetales y animales en diferente grado de descomposición; la transformación de la MOS se realiza por acción de los macro y micro organismos del suelo.

La adición de materia orgánica al suelo, mejora la estructura y porosidad, obteniéndose un balance apropiado entre la fase sólida, líquida y gaseosa, para el buen desarrollo del cultivo; incrementa la retención de humedad en el suelo, regula la temperatura del suelo, reduce la erosión del suelo y la densidad aparente. También contribuye a mejorar las características químicas del suelo, una vez ocurrida la mineralización pone a disposición de las plantas los macro y micro nutrientes como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, zinc, cobre, hierro, manganeso, boro y molibdeno entre otros; además, incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), mejorando la retención de bases. En las propiedades biológicas del suelo la materia orgánica incrementa la actividad de macro y microorganismos benéficos del suelo, que a más de participar en varios de los procesos físico-químicos señalados, son fundamentales en la protección del sistema radical, producción de reguladores de crecimiento, entre otros.

Dependiendo del cultivo, los abonos orgánicos no llegan a satisfacer las cantidades de nutrientes (N y P) requeridos por la planta para obtener buenos rendimientos; por lo cual, lo más recomendable es hacer aplicaciones balanceadas entre fertilizantes químicos y abonos orgánicos.

La mayoría del N en el suelo está presente en forma orgánica y no está disponible inmediatamente para ser utilizado por la planta. El N orgánico, generalmente representa solo del 2 al 3 %. Por lo tanto, el proceso que convierte las formas orgánicas de N no disponibles a formas disponibles es importante para el crecimiento de las plantas. Este proceso se denomina mineralización y ocurre a medida que los microorganismos del suelo descomponen la materia orgánica.

El N puede ser inmovilizado en el suelo, este proceso ocurre cuando se incorporan residuos de cultivos con alto contenido de Carbono (C) y bajo de Nitrógeno (N).



La mineralización y la inmovilización ocurren simultáneamente en el suelo. El cambio de un suelo a dominancia de formas orgánicas o inorgánicas de N, está gobernado principalmente por la relación C/N de la materia orgánica que se está descomponiendo. Los materiales con una relación C/N amplia (mayor que 30:1) favorecen la inmovilización; los materiales con una relación C/N baja (menos de 20:1) tienden a una rápida mineralización. Las relaciones C/N entre 20 y 30:1 favorecen los dos procesos por igual. La Tabla 5.1, presenta la relación C/N de varios materiales orgánicos.

**Tabla 5.1. Relación carbono - nitrógeno (C/N) de varios materiales orgánicos.**

Material	Relación C:N
Humus	10:1
Alfalfa	13:1
Estiércol vacuno descompuesto	20:1
Residuos de maíz	60:1
Paja de cereales de granos pequeños	80:1
Carbón mineral	124:1
Madera de roble	200:1

Fuente: Córdova, 1999

## 5.2 Consideraciones del clima

En Ecuador, la mora de Castilla, es cultivada principalmente en zonas de clima frío moderado en altitudes entre 2 800 a 3 100 msnm con temperaturas promedio de 14 °C, donde en determinadas épocas pueden presentarse heladas. Existen además, otras zonas de expansión del cultivo como los valles subtropicales con temperaturas más altas y precipitaciones menores a los requerimientos del cultivo, pudiendo presentarse en ciertas épocas déficit hídrico, o en zonas de estribación con altas precipitaciones, donde se presentan problemas de aireación de las raíces, lo que trae como consecuencia, en cada zona en particular, problemas de disponibilidad de nutrientes en las plantas por efecto de varios factores climáticos.

En la Tabla 5.2, se observa la influencia de varios factores del clima que reducen la absorción de varios nutrientes y afectan el desarrollo normal de la planta.

**Tabla 5.2. Influencia negativa de las diversas condiciones climáticas sobre la disponibilidad de los micronutrientes para la planta.**

Factor	Elementos					
	Manganeso	Cobre	Zinc	Hierro	Boro	Molibdeno
Frío	•		•	•		
Asfixia radicular	•		•	•		
Sequia	•				•	•
Intensa luminosidad				•	•	
Aireación escasa				•		

Fuente: Piaggese, 2004

La mora es susceptible a las heladas por ello se debe conocer muy bien el microclima de la zona donde se desee cultivar; aplicaciones de calcio foliar quelatado o complejo adecuado (Ortega, 1978) y productos bioestimulantes osmoreguladores como las algas marinas especialmente del género y especie (*Ascophyllum nodosum*) permiten mitigar y tolerar de mejor manera el efecto de las heladas.

### 5.3 NUTRIENTES ESENCIALES PARA LAS PLANTAS

Se conoce 16 elementos químicos que son esenciales para el crecimiento de las plantas; dichos elementos están divididos en dos grandes grupos: minerales y no minerales.

Los nutrientes no minerales son tres: el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), los que se encuentran en el agua y en la atmósfera, y son usados en la fotosíntesis (Díaz, 1994, 1997).

En la Tabla 5.3, se presentan los trece nutrientes minerales provenientes del suelo:

**Tabla 5.3. Nutrientes minerales esenciales para las plantas.**

Macronutrientes		Micronutrientes
Primarios	Secundarios	
Nitrógeno (N)	Calcio (Ca)	Zinc (Zn)
Fósforo (P)	Magnesio (Mg)	Cobre (Cu)
Potasio (K)	Azufre (S)	Hierro (Fe)
		Manganeso (Mn)
		Boro (B)
		Molibdeno (Mo)
		Cloro (Cl)

**Fuente: Córdova, 1999**

Investigaciones realizadas por Brown, Welsh y Cary (1987), mencionado por Jones (2012), establecen la esencialidad del níquel (Ni) y silicio (Si) en la nutrición de las plantas, existiendo la posibilidad de adicionarles como micronutrientes.

Según estudios realizados por Morgan (2000), en hidroponía, observó como nuevos elementos considerados benéficos para las plantas al silicio (Si), sodio (Na), cobalto (Co), vanadio (V), litio (Li), rubidio (Rb), estroncio (Sr), aluminio (Al), selenio (Se), yodo (I), titanio (Ti) y plata (Ag). Hay dos tipos de respuesta debido a la presencia de estos elementos que tienen un efecto beneficioso:

- Efecto directo que se refiere específicamente a ese elemento.
- Mejora del crecimiento por medio de sustitución por un elemento esencial.

Otros aspectos importantes a considerar respecto a los nutrientes son: la movilidad de los nutrientes en el suelo, así al comparar las distancias a las que se desplazan el N, P y K, desde el punto en el cual fueron colocados, el N presenta mayor movilidad que el P y K, y a su vez el K presenta mayor movilidad que el P; los sinergismos y antagonismos por la absorción de un nutriente (Tabla 5.4), así como las relaciones de las bases intercambiables en los suelos: Ca/Mg, Mg/K, Ca+Mg/K, Ca/K (Tabla 5.5).

**Tabla 5.4. Asimilación, antagonismo y sinergismo de nutrientes.**

Asimilación de nutriente	Disminuye la asimilación de	Aumenta la asimilación de
$\text{NH}_4^+$	Mg, Ca, K, Mo	Mn, P, S, Cl
$\text{NO}_3^-$	Fe, Zn	Ca, Mg, K, Mo
P	Cu, Zn	Mo
K	Ca, Mg	Mn (suelos ácidos)
Ca	K	Mn (suelos alcalinos)
Mg	Cu, Zn	Mo
Fe	Cu	
Zn	Mo	
Cu	Zn, Ca, Mo	

Fuente: Díaz, 1997

**Tabla 5.5. Relaciones óptimas de bases intercambiables para los suelos.**

Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/K
2-6	2-3	20-30	10-15

Fuente: Sánchez, 2009

## 5.4 NECESIDADES NUTRIMENTALES DEL CULTIVO DE MORA DE CASTILLA

En general, entre el 75 y el 85 % de la planta está compuesto por agua, el resto es materia seca. Dicho contenido varía con el cultivar y la parte de la planta (tallo, hoja, fruto). La mayor parte de la materia seca está formada por compuestos orgánicos como azúcares, almidón, celulosa; alrededor de un 10 % consta de compuestos inorgánicos, en su mayoría son elementos nutritivos. Los elementos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son absorbidos por todas las plantas en cantidades relativamente grandes y por eso se llaman macronutrientes. El zinc, cobre, hierro, manganeso, boro y molibdeno se requieren en pequeñas cantidades y son denominados micronutrientes; todos estos elementos son considerados esenciales, puesto que la planta no puede funcionar sin ellos.

Además de los elementos ya mencionados, se pueden encontrar otros en los análisis de material vegetal, que han sido absorbidos por la planta sin que ello implique que sean esenciales para su funcionamiento. El sodio (Na) y el cloro (Cl) por ejemplo, casi siempre se encuentran presentes, aunque su rol es limitado y las cantidades requeridas se encuentran a nivel de los elementos traza.

### 5.4.1 Absorción de nutrientes (macro y micro nutrientes)

Las puntas de las raíces, pueden ser consideradas sistemas abiertos hasta que el agua alcanza la banda Casparian y puede fluir libremente junto con los iones disueltos hacia adentro y hacia afuera. Las puntas de las raíces absorben los iones mediante el flujo de agua; en este sistema abierto, la absorción llega a las células lignificadas de la raíz y también ocurre en las células de la epidermis con los pelos radicales. Los iones ingresan a través de la membrana celular y deben ser transportados por vía de la endodermis a los vasos del xilema. La epidermis y las células lignificadas se encuentran conectadas a través del plasma y la endodermis, lo que hace posible el transporte hacia esta última.

Para explicar el proceso de absorción se han desarrollado una serie de teorías, aunque muchos aspectos aún no son claros. La concentración iónica dentro de la célula es mayor que la del exterior, de manera que la absorción de un ion con frecuencia implica su transporte en contra del gradiente de concentración, y ello requiere energía. El intercambio entonces tiene lugar con otro ion de la misma carga, o con la absorción simultánea de otro ion de carga negativa. También existe la absorción pasiva que no requiere energía.

Sobre la superficie de la membrana existen áreas con carga negativa, a las cuales se adsorben cationes (iones de carga positiva). La parte interna de la membrana en general tiene una carga más negativa que la parte externa y como resultado, los cationes son arrastrados hacia adentro, aun cuando este transporte se encuentre en contra de la diferencia de concentración. En el caso de los aniones, este tipo de absorción pasiva no es significativo. La forma exacta en que el transporte activo de iones tiene lugar a través de las membranas no está aún completamente clara. Una de las teorías actuales, llamada la teoría 'Carrier' o de los portadores, establece que existen compuestos de tipo proteico que se adhieren a los iones y los pasan a través de la membranas, desconectándose de ellos una vez se encuentran dentro.

Existen portadores destinados a un tipo particular de ion, por ejemplo el potasio, y ésta es la base para que la absorción sea selectiva. Como resultado, la composición de la planta puede variar considerablemente de aquella de la solución nutritiva; sin embargo, existe la posibilidad de que el mismo portador transporte iones relacionados, como el sodio y el potasio, lo que da lugar al concepto de antagonismo. Si por ejemplo, hay más potasio que calcio presente, el lugar de este último sobre el portador puede ser tomado por iones potasio lo que conduce a una deficiencia de calcio.

La velocidad en la cual se absorben los iones depende de la concentración en la solución externa, de manera que entre más iones haya, mayor será la absorción. Para algunos iones existe un límite máximo, mientras que para otros no, por ejemplo el nitrógeno es absorbido hasta cierto punto, pero después de alcanzar un nivel específico la absorción se inhibe así misma. El boro por el contrario no se inhibe, y la absorción continúa hasta niveles tóxicos para las plantas.

Una vez que el ion atraviesa la membrana celular y llega al plasma, se moverá de célula en célula a través de éste. Ni las bandas Casparian, ni la endodermis detendrán su paso, de manera que terminará en los vasos del xilema. En consecuencia, el transporte tiene lugar por la presión radical o por el flujo de transpiración.

En principio, todos los nutrientes son transportados primero a las partes transparentes de la planta (las hojas), donde se encuentran los haces vasculares del xilema y donde la presión interna es mayor. Desde las hojas, los nutrientes son distribuidos a través de los tubos cribosos, junto con los asimilados producidos por las hojas, hasta partes de la planta donde ocurre poca o ninguna transpiración como son las puntas de crecimiento, yemas, frutos y también las puntas de las raíces. Sin embargo, no todos los elementos terminan en los tubos cribosos, el calcio, por ejemplo, después de alcanzar las hojas mediante el flujo del xilema, se fija y no puede ser transportado más allá, o solamente de manera muy limitada, lo mismo sucede con el boro. En consecuencia, las puntas de las raíces dependen totalmente de la presión radical para obtener un buen suministro de calcio. La presión radical garantiza el transporte de elementos no solamente hasta las hojas, sino también hasta aquellas partes de la planta donde no ocurre transpiración, que por lo tanto siempre tendrán bajas concentraciones de estos elementos, como sucede por ejemplo, con los brotes jóvenes.

#### **5.4.2 Funciones de los nutrientes**

En la Tabla 5.6, se presenta en forma resumida las principales funciones de los nutrientes esenciales para las plantas; así como las formas inorgánicas como las plantas absorben los nutrientes provenientes del suelo de los fertilizantes minerales y los abonos orgánicos.

Tabla 5.6. Nutrientes, formas químicas de absorción por las plantas y funciones.

Nutriente	Formas disponibles	Principales funciones
<b>Carbono</b>	CO <sub>2</sub>	Principal constituyente de la materia viva y consecuentemente de todas las biomoléculas; carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos
<b>Oxígeno</b>	O <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O)	También se encuentra en todas las biomoléculas. Aproximadamente el 90% del oxígeno consumido en la célula es utilizado en la respiración (fosforilación oxidativa).
<b>Hidrógeno</b>	H <sup>+</sup> (H <sub>2</sub> O)	Está presente en todas las biomoléculas. Es importante en el equilibrio iónico y del pH. Participa en reacciones redox y en el intercambio de energía en la célula.
<b>Nitrógeno</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Importante componente de todas las proteínas y ácidos nucleicos. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila, entre otros.
<b>Fósforo</b>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD), interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía.
<b>Potasio</b>	K <sup>+</sup>	Es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica.
<b>Calcio</b>	Ca <sup>2+</sup>	Es importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular. Asociado con proteínas (calmodulinas), cumple funciones de mensajero secundario.
<b>Magnesio</b>	Mg <sup>2+</sup>	Participa como cofactor o activador en muchas reacciones enzimáticas. Se asocia al ATP en la transferencia de energía y es componente de la clorofila.
<b>Azufre</b>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Se encuentra presente en muchas proteínas y como el fósforo participa en reacciones de intercambio de energía.
<b>Hierro</b>	Fe <sup>2+</sup>	Es componente de muchas enzimas y juega un papel importante en la transferencia de electrones (reacciones redox), como en los citocromos, en las cadenas de transporte electrónico.
<b>Manganeso</b>	Mn <sup>2+</sup>	Es constituyente de algunas enzimas y activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración. Cataliza la liberación de oxígeno en la fotólisis del agua.
<b>Zinc</b>	Zn <sup>2+</sup>	Componente esencial y activador de numerosas enzimas. Es necesario para la biosíntesis de la clorofila y ácido endolacético.
<b>Cobre</b>	Cu <sup>2+</sup>	Componente y activador de muchas enzimas, principalmente SOD (superóxido dismutasas) y constituyente de la plastocianina.
<b>Boro</b>	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> , B(OH) <sub>3</sub>	Participa en el metabolismo y transporte de carbohidratos y en la síntesis de la pared celular.
<b>Molibdeno</b>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Es importante en la asimilación de nitrógeno, como constituyente de la nitrato reductasa y de la nitrogenasa.
<b>Cloro</b>	Cl <sup>-</sup>	Se requiere en fotosíntesis y en la fotólisis del agua. Participa en la división celular.
<b>Níquel</b>	Ni <sup>2+</sup>	Constituyente de la enzima ureasa.

Fuente: Adaptado de Sánchez, 2009 y Jones, 2012.

### 5.4.3 Deficiencias y excesos (toxicidad) nutrimentales

El diagnóstico visual, es una herramienta importante para establecer anomalías nutrimentales directamente en el campo. Sin embargo, el técnico debe poseer suficiente experiencia para poder diferenciar una deficiencia y/o toxicidad nutrimental (síntoma típico) de un daño por plagas, clima, exceso de plaguicidas, humedad, entre otros (síntoma atípico).

**Simetría de síntomas:** en virtud de que los nutrientes se mueven vía xilema y/o floema, los síntomas pueden manifestarse simétricamente en la planta y hojas.

**Movilidad de los nutrientes:** en general, de acuerdo a la movilidad que tengan los nutrientes en la planta, el apareamiento de síntomas aparecerá primero en las hojas viejas en los elementos móviles y en las hojas jóvenes en el caso de los poco móviles (Tabla 5.7). Este conocimiento es importante y puede ser útil para diferenciar de manera visual el elemento causante de una deficiencia en comparación con otro de sintomatología similar.

En la Tabla 5.7, se presenta la movilidad de los nutrientes en la planta, importante para identificar el elemento involucrado en el síntoma típico.

**Tabla 5.7. Movilidad de los nutrientes en la planta.**

Muy móviles	Ligeramente móvil	Inmóvil	Muy inmóvil
Nitrógeno	Azufre	Cobre	Calcio
Fósforo		Hierro	Boro
Potasio		Molibdeno	
Magnesio		Zinc	
		Manganeso	

**Fuente:** Jones, 2012; Sánchez 2009 y Córdova, 1999.

## NITRÓGENO

- Deficiencia de nitrógeno**

Disminuye el crecimiento, el follaje adquiere un color verde claro, comenzando por las hojas maduras; las hojas se tornan más pequeñas y la distancia entre entrenudos se acorta (Figura 5.2).



**Figura 5.2. Deficiencia de nitrógeno en mora.**

**Foto:** Martínez *et al.*, 2007

- **Toxicidad por nitrógeno**

Las plantas con un exceso de N son de color verde oscuro con follaje succulento, que es fácilmente susceptible a las enfermedades y la invasión de insectos.

Las plantas presentan susceptibilidad al estrés hídrico y los rendimientos de fruta pueden ser afectados por exceso de crecimiento vegetativo, así como, verse afectada la calidad de los frutos.

Síntomas de deficiencia de Ca pueden ocurrir si el  $\text{NH}_4^+$  es la fuente primaria de N.

## FÓSFORO

- **Deficiencia de fósforo**

Retraso en el crecimiento, con hojas y brotes pequeños. Las hojas viejas adquieren una tonalidad púrpura - rojizo asociada con la acumulación de azúcares (Figura 5.3).



**Figura 5.3. Deficiencia de fósforo en mora.**

**Foto: Martínez, et al., 2007**

- **Toxicidad por fósforo**

Un exceso de P aparece principalmente como deficiencia de micronutrientes, ya sea con Fe o Zn, siendo los primeros elementos afectados.

El alto contenido de P puede también interferir con el normal metabolismo de la planta. El contenido de P en las hojas superior al 1 %, generalmente se considera tóxico.

## POTASIO

- **Deficiencia de potasio**

Al igual que la deficiencia de nitrógeno, la de potasio se observa en las hojas maduras de la planta; pues, desde éstas es conducido a las hojas jóvenes. Produce retardo de crecimiento y tallos cortos; en estadios avanzados hay desecación de las ramas (quebrazón), clorosis y en algunos casos necrosis de los bordes y puntas de las hojas maduras (Figuras 5.4 y 5.5), llegando a tener problemas en la buena y consistente formación de los frutos por mala translocación de fotosintatos a éstos.



**Figura 5.4. Deficiencia de potasio en hojas.**

**Foto: Martínez et al., 2007**



**Figura 5.5. Deficiencia de potasio en tallos.**

**Foto: Martínez et al., 2007**

- **Toxicidad por potasio**

Se convertirá en deficiencia de Mg y posiblemente de Ca, debido a desbalances. La deficiencia de Mg es más probable que ocurra primero.

## **CALCIO**

- **Deficiencia de calcio**

Un síntoma común de la deficiencia de Ca es un pobre crecimiento de las raíces. Las raíces con deficiencia de calcio se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos nuevos desarrollan síntomas debido a que el Ca no se transloca dentro de la planta. Los tejidos nuevos necesitan Ca para la formación de paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de Ca causa que los filos de las hojas y que los puntos de crecimiento sean gelatinosos. En casos severos, los puntos de crecimiento mueren.

Las deficiencias de calcio casi nunca se muestran en el campo, debido a que los efectos de condiciones secundarias, como una alta acidez, limitan primero el crecimiento de la planta. La deficiencia ocurre más comúnmente en cultivos como la mora.

- **Toxicidad por calcio**

Un contenido excesivo de Ca puede producir deficiencias de otros cationes como Mg o K, dependiendo de la concentración de estos dos elementos en la planta.

## **MAGNESIO**

- **Deficiencia de magnesio**

Amarillamiento de las hojas en la parte media de las ramas así como en la base, chamuscado de los tejidos entre las nervaduras dirigido hacia el borde del limbo. Los síntomas de deficiencia de Mg aparecen primero en las hojas inferiores (hojas viejas), debido a que el Mg se transloca por dentro de la planta de tejido viejo a tejido joven. Las hojas presentan un color amarillento, bronceado rojizo, mientras que las venas de las hojas se mantienen verdes. En la mora se presentan fajas amarillentas a lo largo de las hojas, mientras que las venas permanecen verdes.



- **Exceso de magnesio**

Síntomas no específicos por toxicidad. Cuando el contenido de Mg en las hojas es alto (>1 %) puede inducir a deficiencias de Ca o K.

## AZUFRE

- **Deficiencia de azufre**

La deficiencia es similar a la de N, pero ocurre principalmente en las hojas jóvenes, ya que no se transporta fácilmente hasta ellas. Las hojas adquieren un color verde pálido, algunas veces amarillento, particularmente los brotes jóvenes. El color de las flores es considerablemente más claro.

- **Toxicidad por azufre**

Puede ocurrir senescencia prematura de las hojas.

## ZINC

- **Deficiencia de zinc**

La carencia de Zn puede resultar como consecuencia de un exceso de P acompañado de una baja concentración de Zn en la solución nutritiva. Inicialmente se observa clorosis en todas las hojas de los brotes jóvenes. Los entrenudos se acortan y más tarde la planta comienza a mostrar un crecimiento compacto y espeso, ocasionalmente con muerte de los puntos de crecimiento. Algunas veces se observan hojas de forma anormal, también visiblemente arrocetamientos (Figura 5.6).



**Figura 5.6. Deficiencia de zinc en mora.**

**Foto: Martínez et al., 2007**

- **Toxicidad por zinc**

El exceso de zinc induce deficiencia de hierro. Adicionalmente se forma lesiones vidriosas en las hojas maduras a lo largo de la nervadura central y de otras venas. Dichas lesiones son transparentes cuando se observa a la luz y conservan un color verde claro, mientras que el resto de la hoja se torna primero amarilla y más tarde café. Finalmente la hoja se desprende y cae.

## COBRE

- **Deficiencia de cobre**

Las hojas jóvenes son pequeñas y cloróticas en las puntas. Más tarde, la clorosis se extiende a las zonas entre las venas. Si la deficiencia pasa a ser severa, las hojas adquieren una coloración de pergamino, amarilla / blanquecina. En estadios posteriores el punto de crecimiento muere. Los brotes laterales se desarrollan, pero son muy pequeños.

- **Toxicidad por cobre**

Las hojas jóvenes desarrollan un color rojo claro que más tarde se convierte en clorosis intervenal. Se desarrolla deficiencia de hierro. Además la planta presenta un envejecimiento prematuro por aumento en la concentración de etileno ya que el cobre es cofactor metálico participante en la reacción de formación de este y produce una defoliación al inicio leve y luego severo.

## HIERRO

- **Deficiencia de hierro**

Ocurre principalmente cuando el pH del ambiente radicular es alto; la alta concentración de  $\text{HCO}_3$  interfiere con la absorción de Fe, causando un pobre desarrollo radicular en suelos o sustratos demasiado húmedos o demasiado fríos. Los excesos de Zn o Mn también inhiben la absorción de Fe. La Clorosis (amarillamiento) intervenal aparece en las hojas jóvenes (Figura 5.7). Inicialmente las venas continúan verdes, pero luego también se amarillan. La clorosis surge desde estadios muy tempranos de manera que los brotes de las variedades rojas muestran un color rosado, no rojo profundo como es el normal. En casos severos se desarrollan lesiones necróticas en las hojas, y finalmente mueren.



**Figura 5.7. Deficiencia de hierro en mora.**

**Foto: Martínez et al., 2007**

- **Toxicidad por hierro**

Puede acumular varios cientos de ppm de Fe sin producir síntomas de toxicidad. El nivel de toxicidad (no se ha definido claramente), aparecerá como un bronceado de las hojas con pequeñas manchas marrones o cafés, un síntoma típico que ocurre frecuentemente con arroz.

## MANGANESO

- **Deficiencia de manganeso**

Clorosis en las hojas jóvenes en los brotes en crecimiento, similar a la causada por la carencia de Fe, pero con manchas, aparece en hojas un poco más desarrolladas. Otra diferencia con la carencia de Fe es que en la deficiencia de Mn parte de la hoja, a lo largo de la nervadura, permanece verde. Sin embargo, algunas veces es difícil distinguir entre las carencias de estos dos elementos, pues en estadios posteriores todo el brote se torna clorótico.

- **Toxicidad por manganeso**

Puntos negros pequeños sobre las hojas maduras, desarrolladas y transpirantes; lesiones necróticas negras sobre los tallos leñosos y crecimiento deficiente del tallo principal.

Simultáneamente se puede observar síntomas de deficiencia de Fe en la parte superior de la planta (interacción Fe/Mn). Se observa una severa clorosis en las hojas apicales; las hojas más bajas de los brotes jóvenes también se decoloran, pero en menor medida; si se inspecciona con cuidado, se verán pequeños puntos necróticos. Estas hojas se caen con facilidad. El crecimiento y la formación de brotes es insuficiente y en casos severos aparecen punto o lesiones morados a cafés sobre tallos leñosos.

## BORO

- **Deficiencia de boro**

Sépalos cortos y rugosos con bordes arrugados. Hojas pequeñas, mal formadas, cortas acucharadas, dobladas hacia abajo y gruesas, que se parten fácilmente debido a falta de elasticidad (frágiles). En estadios avanzados, el punto apical de crecimiento muere. Comienza a desarrollarse brotes laterales. El síntoma más visible se presenta en los frutos de la mora cuando se encuentran incompletos con espacios vacíos porque las drupas no se han desarrollado por la ausencia de este elemento (Figura 5.8).



**Figura 5.8. Deficiencia de boro en mora.**

Foto: Martínez et al., 2007

- **Toxicidad por boro**

Los márgenes dentados de las hojas maduras se tornan cafés y negros mientras el resto permanece verde. En estadios posteriores, los márgenes de las hojas se queman y las hojas se desprenden de la planta.

## MOLIBDENO

- **Deficiencia de molibdeno**

Con frecuencia se asemeja a los síntomas de deficiencia de N, falta de follaje de color verde oscuro. Las hojas más viejas y medias se vuelven cloróticas primero, y en algunos casos, los márgenes de las hojas se enrollan; la formación y crecimiento de las flores es restringido.

- **Toxicidad por molibdeno**

Normalmente el alto contenido de Mo no afecta a la planta, pero puede ser un problema para los animales rumiantes, particularmente las vacas lecheras, que consumen plantas conteniendo 5 ppm o más de Mo.

## 5.5 FENOLOGÍA DE LA PLANTA DE MORA DE CASTILLA RELACIONADA CON LA NUTRICIÓN

Para realizar una adecuada nutrición a través del riego, se debe considerar su fenología y así ordenar cada una de sus etapas en cuanto a tiempo según zona, para saber en qué periodos corresponderá aplicar la cantidad y tipo de nutrientes junto con el agua.

- **Brotación:** Aparecen las primeras hojas. La planta empieza a absorber agua y nutrientes.
- **Desarrollo:** Se produce una gran actividad celular orientada a la formación de nuevos órganos, se inicia el desarrollo de raíces. En esta etapa es muy importante el calcio el que pasa a formar parte de las estructuras de la planta y en esta fase tiene mayor movilidad a diferencia de las otras fases en que este elemento tiene movilidad reducida.
- **Crecimiento:** Aumento de tamaño de los órganos y aumento de la demanda diaria de agua y nutrientes, especialmente nitrógeno, en esta etapa existe una alta dependencia del suministro externo de nutrientes.
- **Floración:** Los nutrientes, azúcares y agua se movilizan hacia los órganos reproductivos, la absorción por parte de raíces es máxima. El potasio en esta etapa es fundamental debido al rol de transporte de carbohidratos, los cuales forman el 90% del peso seco del fruto.
- **Amarre:** Ocurre la polinización de la flor y marca el inicio de la etapa de llenado de fruto.
- **Llenado de frutos:** Es el proceso de mayor actividad en la translocación interna de nutrientes, azúcares y absorción externa de agua y nutrientes. En esta etapa se llega a la demanda máxima de nutrientes, especialmente potasio.
- **Coloración:** En esta etapa el fruto ha llegado a su máximo tamaño y se inicia el cambio de color. El fruto pasa a ser el principal órgano de demanda de fotosintatos.
- **Cosecha:** Remoción del fruto de acuerdo a parámetros comerciales.
- **Poscosecha:** La planta presenta nuevamente actividad radicular y se genera un reflujo de

nutrientes hacia las raíces y madera. Este es el momento clave para aplicar nutrientes y aumentar las reservas para el inicio del crecimiento de los nuevos brotes, inflorescencias y frutos.

## 5.6 PROGRAMA DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE MORA DE CASTILLA

Para establecer un programa de fertilización edáfica en el cultivo de mora, no es suficiente conocer los requerimientos nutricionales de las plantas, ya que la absorción de los elementos esenciales depende de varios factores de crecimiento. Entre los edáficos se debe destacar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, y la oferta nutricional que presente el suelo para atender satisfactoriamente la demanda de nutrientes que necesita la planta.

Existen varios sistemas para evaluar el estado de fertilidad del suelo y de nutrición de los cultivos, entre ellos, merece destacarse el diagnóstico visual de deficiencias nutricionales, los análisis de suelos y foliares.

Tanto los análisis de suelos como los análisis foliares cumplen un rol importante en el diagnóstico y control de la nutrición de los cultivos; estos, permiten determinar exactamente la relación oferta (suelo) - demanda (planta) al tener presente los demás factores de crecimiento y las interacciones del entorno donde se desarrollan. Un adecuado plan de fertilización debe partir de una correcta interpretación de las herramientas de diagnóstico (Tablas 5.8, 5.9 y 5.10).

**Tabla 5.8. Intervalos para interpretar el análisis de suelo para el cultivo de mora.**

Elemento	Unidades	Bajo	Óptimo	Alto
Calcio	meq 100 g <sup>-1</sup>	< 4,00	4,00 - 20,00	> 20,00
Magnesio		< 1,00	1,00 - 10,00	> 10,00
Potasio		< 0,20	0,20 - 1,50	> 1,50
Fósforo		< 10,00	10,00 - 40,00	> 40,00
Manganeso		< 5,00	5,00 - 50,00	> 50,00
Zinc	µg g <sup>-1</sup>	< 3,00	3,00 - 15,00	> 15,00
Cobre		< 1,00	1,00 - 20,00	> 20,00
Hierro		< 10,00	10,00 - 50,00	> 50,00
pH	adimensional		5,50 - 6,50	
Aluminio	meq 100 g <sup>-1</sup>	-	0,30	> 1,00 tóxico

Fuente: Pansu y Gautheyrou, 2006.

**Tabla 5.9. Intervalos para interpretar análisis foliares en plantas de mora.**

Interpretación del análisis	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Cu	Zn	B
	g 100g <sup>-1</sup>						µg g <sup>-1</sup>				
Deficiente	< 2,2	< 0,2	< 1,1	< 0,6	< 0,2	< 0,2	< 25,0	< 50,0	< 4,0	< 15,0	< 25,0
Normal	2,2- 4,0	0,2-0,6	1,1-3,0	0,6-2,5	0,2-0,8	0,2-0,6	25,0-300,0	50,0-200,0	4,0-20,0	15,0-100,0	25,0-75,0
Exceso	> 4,0	> 0,6	> 3,0	> 2,5	> 0,8	> 0,6	> 300,0	> 200,0	> 20,0	> 100,0	> 75,0

Fuente: Pansu y Gautheyrou, 2006.

**Tabla 5.10. Intervalos para interpretar análisis foliares en plantas de mora.**

Cantidad: 50 hojas con peciolo, órgano: hojas recientemente maduras, época: inicio de floración											
Interpretación del análisis	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Fe	Cu	Zn	B
	g 100g <sup>-1</sup>						µg g <sup>-1</sup>				
<b>Deficiente</b>	< 2,5	< 0,3	< 1,5	< 0,8	< 0,3	< 0,3	< 50,0	< 50,0	< 7,0	< 20,0	< 30,0
<b>Normal</b>	3,0-4,0	0,3-0,5	2,5-3,5	0,8-1,5	0,3-0,4	0,3-0,6	50,0	50,0	7,0	20,0	30,0-50,0
<b>Exceso</b>	> 4,0	> 0,5	> 3,5	> 1,5	> 0,4	> 0,6	> 50,0	> 50,0	> 7,0	> 20,0	> 50,0

Fuente: Sánchez, 2009.

El primer paso en el diseño de un plan de manejo nutrimental del cultivo de mora debe ser la definición de los rendimientos máximos posibles.

El segundo aspecto que debe ser dilucidado al estructurar el plan de manejo nutrimental es: que proporción de dicha demanda puede ser cubierta por el suelo; es decir el suministro nutrimental en las condiciones en las que se encuentra el suelo.

Gran parte del esfuerzo en el área de nutrición de cultivos, en el pasado, ha sido dedicada a evaluar la capacidad de abastecimiento nutrimental que poseen los suelos y los requerimientos nutrimentales de los cultivos.

En la actualidad, es común que en la agricultura de altos insumos, de carácter empresarial, se haga un seguimiento del estado nutrimental de los cultivos a lo largo del ciclo de crecimiento para evitar que la nutrición sea un factor limitativo para la producción.

Asimismo, se conoce que las aplicaciones de fertilizantes no son ciento por ciento efectivas, de ahí la necesidad de conocer la eficiencia de uso de los distintos fertilizantes (nutrientes) en el cultivo de mora. Esta eficiencia depende de la naturaleza de los fertilizantes, del tipo de cultivo, del suelo y de la tecnología de aplicación.

El plan de manejo nutrimental del cultivo de mora, depende de la demanda nutrimental de éste, del suministro del suelo y de la eficiencia del uso de fertilizante, expresado en el siguiente modelo:

$$\text{Dosis de fertilizante} = \frac{\text{Suministro del suelo} - \text{Demanda del cultivo}}{\text{Eficiencia de recuperación del fertilizante}}$$

### 5.6.1 Suministro del suelo (SUM)

Mediante el análisis de suelo se estima el suministro potencial de nutrientes para los cultivos, el contenido del suelo se reporta en ppm (partes por millón) o mg kg<sup>-1</sup> o µg g<sup>-1</sup> y se expresa en su forma elemental, por ejemplo el nitrógeno como N, fósforo como P, potasio como K, azufre como S, entre otros; por lo tanto, para conocer el suministro del suelo es necesario convertir la forma elemental del nutriente a la forma oxidada, utilizando los siguientes factores de conversión (Tabla 5.11):

Tabla 5.11. Factores de conversión.

Para convertir de A a B		Multiplicar por
A	B	
N	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,2857
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N	0,7777
N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,4286
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	0,2259
P	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,2914
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P	0,4364
K	K <sub>2</sub> O	1,2046
K <sub>2</sub> O	K	0,8302
Ca	CaO	1,3992
CaO	Ca	0,7147
Mg	MgO	1,6579
MgO	Mg	0,6032
S	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	3,0000
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	S	0,3333

Ejemplo, si queremos convertir 2 ppm de P a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, este deberá multiplicarse por 2,2914. 2 ppm de P = 4,5828 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

### 5.6.2 Demanda del cultivo (extracción, exportación, absorción ó demanda nutrimental, DEM)

Conocido el rendimiento máximo alcanzable (rendimiento meta), es posible calcular la biomasa asociada con el rendimiento y con ello la demanda nutrimental (Tablas 5.12 y 5.13).

Los rendimientos máximos alcanzables en una zona cualquiera se pueden establecer a partir de una encuesta que se realiza entre los mejores agricultores. También, se pueden estimar con base en los rendimientos máximos alcanzados en redes de ensayos experimentales conducidos en el área. En este caso, el rendimiento obtenido por el mejor tratamiento es cercano al máximo posible.

Tabla 5.12. Consumo de nutrientes por el cultivo de mora.

Ecotipo Mora	Peso 1 ton Fruto fresco	Cantidad absorbida											
		Humedad g 100 <sup>-1</sup>	peso seco Kg	kg t <sup>-1</sup>					g t <sup>-1</sup>				
				N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn
Roja	79	210	1,76	0,34	2,71	0,65	0,36	0,08	7,60	1,7	8,40	15,30	1,00
Morada	80	200	2,60	0,40	2,56	0,96	0,52	0,12	8,20	1,80	8,00	18,40	1,10
PZ	84	160	1,20	0,18	1,86	0,42	0,25	-	15,20	0,60	2,40	11,70	-
Promedio			1,85	0,31	2,38	0,68	0,38	0,10	10,30	1,36	6,27	15,10	1,05

Fuente: Bertsch, 2003.

**Tabla 5.13. Demanda nutrimental de mora, para un rendimiento de 15 t ha<sup>-1</sup> de fruta.**

Extracción nutrimental por zarzamora var. Tupy en fruto, parte aérea (hojas y tallos) y total				
Elemento	Fruto		Parte aérea	Fruto + parte aérea
N				52 kg ha <sup>-1</sup>
	kg t <sup>-1</sup>	Demanda kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	Demanda total kg ha <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,60	24,00	2,60	26,60
K <sub>2</sub> O	6,10	91,50	18,00	109,50
CaO	1,80	27,00	20,80	47,80
MgO	1,50	22,50	5,90	28,40
S	1,40	21,00	2,00	23,00
	g t <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup>	g ha <sup>-1</sup>
Fe	32,00	480,00	280,50	760,50
Cu	8,00	120,00	17,30	137,30
Mn	71,00	1 065,00	690,70	1 755,70
B	15,00	225,00	80,10	305,10
Zn	9,00	135,00	23,40	158,40

Fuente: Sánchez, 2009

### 5.6.3 Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF)

La eficiencia de recuperación de los fertilizantes depende de la forma y cantidad que se aplican y de la capacidad fisiológica de los cultivos. Según algunos autores, las eficiencias de recuperación de los fertilizantes es de la siguiente manera: nitrogenados 50 %, fosfatados menos de 10 % y los potásicos cerca de 40 %; mientras que para los micronutrientes es de 5 a 10 % en la agricultura convencional, representando en todos estos casos pérdidas económicas y daños potenciales al ambiente (Tabla 5.14).

**Tabla 5.14. Factores de eficiencia de recuperación del fertilizante.**

Fertilización al suelo			Fertirriego		
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1,5	2,0	1,7	1,2	1,2	1,2

Fuente: Los autores

Con base al suministro del suelo (SUM), la demanda del cultivo (DEM) y la eficiencia de recuperación de los fertilizantes (ERF), se determinará una fórmula de fertilización para el cultivo de mora.

**EJEMPLO** (Sánchez, 2009):

**Rendimiento meta:** 15 t ha<sup>-1</sup> de fruta fresca



**Resultados del análisis de suelo:**

N ( $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ ) = 16 ppm	Fe = 43,0 ppm
P = 2 ppm	Zn = 8,0 ppm
K = 390 ppm	Mn = 5,4 ppm
Ca = 7 260 ppm	Cu = 1,3 ppm
Mg = 620 ppm	B = 20,4 ppm
S = 55 ppm	pH = 7,5

**Relación de bases intercambiables:**

Relaciones	Valores e interpretación
Ca/K	27,2 Alta
Ca/Mg	12,8 Alta
Ca+Mg/K	29,3 Óptimo
Mg/K	2,1 Óptimo

**Dosis de fertilizantes:**

$$N = (\text{SUM N} - \text{DEM N}) \times \text{ERF N}$$

$$\text{SUM N} = (16 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 48,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

$$\text{DEM N} = 52,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (Valor obtenido de la Tabla 5.12)}$$

$$\text{ERF N} = 1,5 \text{ (Valor obtenido de la Tabla 5.13)}$$

$$D_N = \left( 48,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 52,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times 1,5 = -6,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (} D_N = \text{dosis de N)}$$

$$P = (\text{SUM P} - \text{DEM P}) \times \text{ERF P}$$

$$\text{SUM P} = (2 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 6,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 2,2914 = 13,7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } P_2O_5$$

$$\text{DEM P} = 1,6 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 15,0 \text{ t (rendimiento meta)} = 24,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 2,6 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 26,6 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (Tabla 5.12)}$$

$$\text{ERF P} = 2,0 \text{ (Valor obtenido de la Tabla 5.13)}$$

$$D_P = \left( 13,7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 26,6 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times 2,0 = -25,8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } P_2O_5 = -26,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (redondeado)}$$

$$K = (\text{SUM K} - \text{DEM K}) \times \text{ERF K}$$

$$\text{SUM K} = (390 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 1\,170 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 1,2046 = 1\,409,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } K_2O_5$$

$$\text{DEM K} = 6,1 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 15,0 \text{ t (rendimiento meta)} = 91,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 18 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 109,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (Tabla 5.12)}$$

ERF K = 1,7 (Valor obtenido de la Tabla 5.13)

$$D_K = (1\,409,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 109,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}) \times 1,7 = + 2\,209,8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } K_2O_5 \text{ (} D_K = \text{ dosis de } K_2O)$$

**CONSIDERACIONES:** El resultado anterior indica que no es necesario fertilizar con K, debido a que el suministro rebasa la demanda; sin embargo la relación de bases intercambiables muestra que si no se aplica este elemento se corre el riesgo de que el K sea suprimido por el calcio (Ca/K = alta). Por lo tanto, en estos casos se sugiere aplicar una dosis de mantenimiento que es el 25 % de la demanda total del cultivo; es decir, DEM K = 109.5 kg ha<sup>-1</sup> X 0.25 (25 %) = 27.37 kg ha<sup>-1</sup> = 27 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

$$Ca = (\text{SUM Ca} - \text{DEM Ca}) \times \text{ERF Ca}$$

$$\text{SUM Ca} = (7\,260 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 21\,780 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 1,3992 = 30\,474,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de CaO}$$

$$\text{DEM Ca} = 1,8 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 15,0 \text{ t (rendimiento meta)} = 27,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 20,8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 47,8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (Tabla 5.12)}$$

ERF Ca = 1,7 (Valor obtenido de la Tabla 5.13)

$$D_{Ca} = (30\,474 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 47,8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}) \times 1,7 = + 51\,725,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de CaO (} D_{Ca} = \text{ dosis de CaO)}$$

Para éste caso, en el cual el suministro rebasa la demanda del cultivo, además de que las bases intercambiables indican altos niveles de Ca en el suelo, no es necesario aplicarlo.

$$CaO = 0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

$$Mg = (\text{SUM Mg} - \text{DEM Mg}) \times \text{ERF Mg}$$

$$\text{SUM Mg} = (620 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 1\,860 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times 1,6579 = 3\,083,7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de MgO}$$

$$\text{DEM Mg} = 1,5 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 15,0 \text{ t (rendimiento meta)} = 22,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 5,9 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 28,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ (Tabla 5.12)}$$

ERF Mg = 1,7 (Valor obtenido de la Tabla 5.13)

$$D_{Mg} = (3\,083,7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 28,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}) \times 1,7 = + 5\,194 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de MgO (} D_{Ca} = \text{ dosis de MgO)}$$

**CONSIDERACIONES:** Al igual que el potasio, en este caso, el Mg podría ser bloqueado por el calcio del suelo, de acuerdo a la relación Ca/Mg (12,8 Alta). Por lo tanto se puede aplicar la dosis de mantenimiento.

$$D_{Mg} = \left( 28,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} (\text{DEM Mg}) \times 0,25 (25\%) \right) = 7,1 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = -7 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \quad (D_{Ca} = \text{dosis de MgO})$$

$$S = (\text{SUM S} - \text{DEM S}) \times \text{ERF S}$$

$$\text{SUM S} = (55 \text{ ppm} \times 30 \text{ cm} \times 1,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times 0,1) = 165,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

$$\text{DEM S} = 1,4 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times 15,0 \text{ t (rendimiento meta)} = 21,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 2,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 23,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \quad (\text{Tabla 5.12})$$

$$\text{ERF S} = 1,7 \quad (\text{Valor obtenido de la Tabla 5.13})$$

$$D_S = \left( 165,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} - 23,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) \times 1,7 = + 241,4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de S}$$

**CONSIDERACIONES:** En este caso no se requiere fertilizar con azufre ya que las fuentes que regularmente se usan para mora son a base de sulfatos.

Por lo tanto la fórmula de fertilización queda de la siguiente manera:  $N_6 P_{26} K_{27} Mg_7$

**CONSIDERACIONES FINALES:** Se observa que la dosis de nitrógeno para mora en este ejemplo es muy baja.

Algunos autores no consideran el análisis de nitrógeno en el suelo debido a su inconsistencia; es decir, éste puede fácilmente lixiviarse como nitratos o volatilizarse como  $N_2$ ,  $NH_3$  o  $N_2O$ , de tal manera que durante el periodo comprendido entre el muestreo y el establecimiento del cultivo pueden transcurrir meses y los contenidos para entonces pueden ser menores a los reflejados en el análisis.

La sugerencia es que si no se harán análisis foliares posteriormente, para evaluar el suministro del nitrógeno, entonces se aplique 25 % más del total de la demanda, es decir:

$$D_N = 52,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} + 25 \% = 65,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \quad (52,0 + 13,0) \times \text{ERF N} (1,5) = 97,5 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} = 98,0 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de N}$$

Lo cual coincide con lo que aplican algunos productores de mora.

Finalmente la fórmula de fertilización para un rendimiento estimado de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  es:  $N_{98} P_{26} K_{27} Mg_7$ ; en la tabla 5.15 se presenta la recomendación redondeando los datos:

**Tabla 5.15. Recomendación final de fertilización para mora, según el análisis de suelo.**

Cultivo	N	$P_2O_5$	$K_2O$	MgO
	kg ha <sup>-1</sup>			
Mora	100	30	30	10

Fuente: Los autores

## Cálculo de fertilizantes

### a) Fósforo (18-46-0)

$$\text{Dosis}_P = \left( \frac{\text{Requerimiento } \frac{\text{kg}}{\text{ha}}}{\text{concentración del fertilizante \%}} \right) \times 100 = \left( \frac{30}{46} \right) \times 100 = 65,2 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

$$\text{Cantidad de N en el 18-46-0} = \text{kg de 18-46-0} \times \left( \text{concentración de } \frac{\text{N}}{100} \right) = 65,2 \times 0,18 = 11,7 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}$$

### b) Nitrógeno (Urea 46 % de N)

$$N = 100,0 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} (\text{Recomendación}) - 11,7 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \left( \text{en el 18-46-0} = 88,3 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \right) \text{ Diferencia}$$

$$\text{Dosis}_N = (88,3 / 46,0) \times 100,0 = 191,9 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

### c) Potasio (muriato de potasio 60 % K<sub>2</sub>O)

$$\text{Dosis}_K = (30,0/60,0) \times 100,0 = 50 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

### d) Magnesio (magnesil granular 32 % MgO)

$$\text{Dosis}_{Mg} = (10,0/32,0) \times 100,0 = 31,3 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

Recomendación final por año:	18-46-0	= 65 kg ha <sup>-1</sup>
	Urea	= 192 kg ha <sup>-1</sup>
	Muriato de potasio	= 50 kg ha <sup>-1</sup>
	Magnesil	= 31 kg ha <sup>-1</sup>

**Época de aplicación de fertilizante:** El nitrógeno fraccionar para cuatro aplicaciones, el fósforo potasio y magnesio en tres aplicaciones.

### A manera de guía se dan las siguientes recomendaciones generales:

**Aplicación de cal:** Si el pH del suelo es menor de 5,0 se recomienda aplicar 200 g de cal dolomita, por sitio; si el pH está entre 5 y 5,5 se recomienda aplicar 100 g de cal dolomita, por sitio, antes del trasplante.

**Aplicación de materia orgánica:** Se recomienda aplicar 1 a 2 kg de abono orgánico descompuesto por sitio, antes de la siembra y repetir esta aplicación cada año.

En la Tabla 5.16, se recomienda aplicar de 80 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno por año y para fósforo, potasio y azufre de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo. Se puede emplear diferentes fuentes.

**Tabla 5.16. Tabla guía de recomendaciones de fertilización para el cultivo de mora.**

Interpretación del análisis de suelo	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
	kg ha <sup>-1</sup>			
BAJO		60-90	90-120	20-30
MEDIO	<b>80-120</b>	40-60	60-90	10-20
ALTO		20-40	30-60	0-10

**Fuente: Adaptado de CORPOICA, citado por Artunduaga, 2010.**

Para corregir deficiencias de micronutrientes, se recomienda aplicar abonos foliares en forma de quelatos, desde antes del inicio de la floración. Como consideraciones generales para una adecuada nutrición en el cultivo de mora de Castilla, se debe tener en cuenta:

- Fertilizar con base en rendimiento esperado y con un adecuado balance de nutrientes.
- Cuidar relaciones de cationes Ca/K (10-15), Ca/Mg (2-6), Ca+Mg/K (20-30), Mg/K (2-3) (Sánchez, 2009).
- Se recomienda que los niveles de Cl y Na en el agua de riego sean menores a 1,0 meq l<sup>-1</sup>, es decir, 35,5 ppm (Cl) y 23,0 ppm (Na).
- Balance de formas de Nitrógeno: nítrico y amoniacal, con predominio de la forma nítrica por sobre la amoniacal, principalmente entre brotación hasta cuaje.
- Aplicar fuentes de Potasio soluble y libre de Cloro.
- Utilizar herramientas de diagnóstico como: análisis de suelo, foliar, medidores de clorofila, entre otros
- Parcializar la aplicación de nutrientes, de acuerdo a la época de extracción por la planta.

## 5.7 BIBLIOGRAFÍA

- Artunduaga, B. 2010. Efecto de la fertilización en dos ecotipos de mora (*Rubus* sp.) y su relación con el rendimiento en Andisoles. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Coordinación General de Postgrados, Palmira, Colombia. 63 p.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrientes por los cultivos. San José, Costa Rica. 6 (22): 286.
- Córdova, J. 1999. Propiedad Química y Fertilidad de los suelos. Quito, Ecuador. p. 40.
- Díaz, D. 1994. Los micronutrientes en los árboles frutales. Proyecto Fruticultura INIAP – COTESU, Quito, Ecuador. p. 1-4.
- Díaz, D. 1997. Fertilización en árboles frutales. Proyecto Fruticultura INIAP – COTESU. Quito, Ecuador. p. 1-5.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute). 1997. Manual internacional de fertilidad de los suelos. Quito, Ecuador. p. 139.

- Jones, J. 2012. Plant Nutrition and Soil fertility Manual. Second edition. Editorial CRC Press Taylor y Francis Group. New York, USA. 282 p.
- Martínez, A.; Beltrán, O.; Velasteguí, G.; Ayala, G.; Jácome, R.; Yáñez, W.; Luciano, E. 2007. Manual del cultivo de la mora de Castilla (*Rubus glaucus B.*). Amabato, Ecuador. 36p.
- Morgan, L. 2000. Beneficial elements for hydroponics: A new look at plant nutrition. *The Growing Edge* 11(3):40-51.
- Ortega, T. 1978. Química de Suelos. Departamento de suelos. Universidad Autónoma Chapingo, México. Editorial PATENA. 247 p.
- Pansu, M.; Gautheyrou, J. 2006. Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer Berlin Heidelberg. New York, USA. 326 p. ISBN-10 3-540-31210-2
- Piaggese, A. 2004. Los micronutrientes en la nutrición vegetal. Valagro, Italia. p. 10-51.
- Sánchez, P. 2009. Principios y Aplicaciones de la Nutrición en zarzamora. *In Manejo del Cultivo del Zorzamora en Producción Forzada*. Ed. por Rebollar, A y Segura, S. Producción de Zorzamora en el Subtrópico Mexicano. Fundación Produce Michoacán-Universidad Autónoma Chapingo. p. 44-59.