

A close-up photograph of several ripe blackberry clusters hanging from a vine. The berries are dark purple-black and very plump. Green leaves and stems are visible in the background, slightly out of focus.

Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada

William Andrés Cardona

Martha Marina Bolaños Benavides

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada

William Andrés Cardona
Martha Marina Bolaños-Benavides

Mosquera, Colombia 2019

AGROSAVIA
EDITORIAL

Colección Transformación del Agro

Cardona, William Andrés

Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada. / William Andrés Cardona y Martha Marina Bolaños Benavides -- Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2019.

92 páginas (Colección Transformación del Agro)

Incluye referencias bibliográficas, tablas, ilustraciones y fotos

ISBN obra digital: 978-958-740-298-8

1. Mora 2. *Rubus glaucus* 3. Nutrición de las plantas 4. Biofertilizantes 5. Análisis del suelo 6. Aplicación de abonos. 7. Rendimiento de cultivos I. Bolaños Benavides, Martha Marina

Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura Agrovoc

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)
Centro de Investigación Tibaitatá. Kilómetro 14 vía Mosquera-Bogotá, Mosquera. Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es resultado del macroproyecto de Corpoica (ahora AGROSAVIA). *Desarrollo integral de modelos productivos sostenibles para el cultivo de la mora en Colombia.*

Colección: Transformación del Agro

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2018

Fecha de evaluación: 10 de enero de 2019

Fecha de aceptación: 18 de marzo de 2019

Publicado agosto de 2019

Preparación editorial

Editorial AGROSAVIA

editorial@agrosavia.co

Editora: Liliana Gaona García

Corrección de estilo: Paola González Osorio

Diseño: Oficina Asesora de Comunicaciones, Identidad y Relaciones Corporativas, AGROSAVIA

Diagramación: Guido Delgado Morejón

Impresión: DGP Editores SAS

Nota: A partir de mayo de 2018, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria cambió su acrónimo Corpoica por AGROSAVIA.

Citación sugerida: Cardona, W. A., & Bolaños-Benavides, M. M. (2019). *Manual de nutrición del cultivo de mora de Castilla (Rubus glaucus Benth.) bajo un esquema de buenas prácticas en fertilización integrada*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones e información recogidas en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación; igualmente, declaran que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros relativa a los derechos de autor u otros derechos que se hubieran vulnerado como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

<http://www.agrosavia.co/>



https://co.creativecommons.org/?page_id=13

DOI: <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual-18>

Contenido

Agradecimientos	11
Introducción	13

Capítulo I

Generalidades del cultivo de la mora e implementación de buenas prácticas en fertilización integrada	15
Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de mora	16
Implementación de las buenas prácticas en fertilización integrada	17

Capítulo II

Fertilización y nutrición en el cultivo de mora	21
Fertilización y nutrición	21
Criterios para formular un plan eficiente de fertilización integrada	22
Análisis del suelo	22
Análisis foliar	34
Etapa fenológica	38
Requerimientos nutricionales de la especie vegetal	39
Requerimientos nutricionales del cultivo de la mora de Castilla con espinas en etapa vegetativa, reproductiva y productiva	40
Absorción de nitrógeno (N) durante el ciclo del cultivo de mora	43
Absorción de fósforo (P) durante el ciclo del cultivo de mora	47
Absorción de potasio (K) durante el ciclo del cultivo de mora	49
Absorción de calcio (Ca) durante el ciclo del cultivo de mora	52
Momento oportuno. Fraccionamiento de la fertilización	55

Relación entre rendimiento y fertilización del cultivo de mora	58
Fertilización integrada	59
Acondicionadores	59
Biofertilizantes	63
Fertilizantes orgánicos	67
Fertilizantes químicos	71
Análisis económico de la tecnología generada: fertilización	73
Los autores	77
Referencias	79

Lista de figuras

Figura 1	Recorrido en zigzag para cada parte del lote	23
Figura 2	Profundidad de muestreo	24
Figura 3	Cuarteo para selección de la muestra que se analizará en laboratorio	25
Figura 4	Identificación de la muestra del suelo	25
Figura 5	Absorción de nitrógeno durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses)	44
Figura 6	Absorción de fósforo durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses)	49
Figura 7	Absorción de potasio durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses)	51
Figura 8	Absorción de calcio durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses)	53
Figura 9	Necesidad de nutrientes durante crecimiento vegetativo de la mora	56
Figura 10	Necesidad de nutrientes hasta la etapa productiva inicial	57
Figura 11	Necesidad de nutrientes durante el primer año de producción	57
Figura 12	Necesidad de nutrientes durante el segundo año de producción	58
Figura 13	Rendimiento potencial obtenido con los diferentes tratamientos de fertilización	59
Figura 14	Planta de mora sin presencia de arvenses y con el fertilizante cubierto	72
Figura 15	Valor Presente Neto (VPN) obtenido con cada dosis de fertilización	73
Figura 16	Relación beneficio/costo obtenida con la utilización de las diferentes dosis de fertilización	74



Lista de tablas

Tabla 1	Rangos de pH encontrados	28
Tabla 2	Rangos de materia orgánica, fósforo, azufre, micronutrientes, CICE, relaciones y saturaciones catiónicas	28
Tabla 3	Rangos de saturación de sodio	29
Tabla 4	Rangos de saturación de aluminio	29
Tabla 5	Frecuencias absolutas y relativas del análisis textural y químico (pH, materia orgánica, fósforo y azufre) del suelo en cada localidad	30
Tabla 6	Frecuencias absolutas y relativas del análisis de micronutrientes del suelo en cada localidad	31
Tabla 7	Frecuencias absolutas y relativas del análisis químico (CICE y relaciones catiónicas) del suelo en cada localidad	32
Tabla 8	Frecuencias absolutas y relativas del análisis químico (saturaciones) del suelo en cada localidad	32
Tabla 9	Niveles foliares adecuados de nutrientes para el cultivo de mora de Castilla	34
Tabla 10	Interpretación de análisis foliares de macronutrientes en mora	35
Tabla 11	Interpretación de análisis foliares de micronutrientes en mora	35
Tabla 12	Concentración foliar de macronutrientes (%) en cultivos de mora establecidos	36
Tabla 13	Concentración foliar de micronutrientes (mg kg ⁻¹) en cultivos de mora establecidos	37
Tabla 14	Tratamientos generados para todo el ciclo del cultivo (32,4 meses) (dosis total en kg ha ⁻¹)	42

Tabla 15	Requisitos específicos de un abono orgánico	68
Tabla 16	Valores de referencia que definen la calidad de un abono orgánico comercial	69
Tabla 17	Relación C/N total de los residuos orgánicos planteados	70
Tabla 18	Incremento del contenido de nitrógeno	71
Tabla 19	Costos totales (fijos + variables) y rendimiento obtenido con cada plan de fertilización	74

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) por la financiación de esta investigación.



Introducción

El cultivo de la mora de Castilla en Colombia es considerado como un sistema productivo de agricultura familiar, el cual proporciona flujo de caja semanal para el productor. Sin embargo, esta particularidad ha hecho que este sistema no sea manejado con criterios agronómicos eficaces, como la aplicación de planes eficientes de fertilización integrada, basados en el grado de fertilidad del suelo y los requerimientos nutricionales de la mora; los cuales, junto con prácticas culturales adecuadas, como podas sanitarias frecuentes y distancias de siembra óptimas, permiten alcanzar el máximo potencial productivo de la especie.

Con base en los criterios planteados en este manual, como el análisis químico de suelo, los requerimientos nutricionales según la fenología del cultivo y la selección de acondicionadores, biofertilizantes, fertilizantes orgánicos y fertilizantes químicos, se puede establecer un plan eficiente de fertilización integrada, orientado a optimizar el proceso de fertilización con criterio técnico y económico.

Además de los resultados agronómicos, los resultados económicos obtenidos en esta investigación permiten concluir que las dosis de fertilización calculadas son las recomendadas para tomar como base en la elaboración de planes eficientes de fertilización integrada para cultivos de mora.

Este manual es el resultado principal de la investigación que durante más de seis años realizó la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) con relación a la estimación de los requerimientos nutricionales del cultivo de mora de Castilla con espinas, durante todas sus etapas fenológicas (vegetativa, reproductiva y productiva); y la elaboración de las curvas de absorción para determinar los momentos claves de fertilización dentro de cada etapa, optimizando la práctica de fertilización, mediante el suministro de los macronutrientes (N, P, K y Ca) en las dosis adecuadas y épocas precisas de máxima absorción nutricional.



A vertical strip on the left side of the page shows a close-up of several raspberries. The top part shows a cluster of ripe, red raspberries. Below that, there's a cluster of unripe, greenish-purple raspberries. At the bottom, another cluster of ripe, red raspberries is visible. The raspberries are shown in detail, with their characteristic bumpy texture and small leaves.

Capítulo I

Generalidades del cultivo de la mora e implementación de buenas prácticas en fertilización integrada

La mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) es la principal especie de mora cultivada en Colombia (Rincón-Bonilla, Moreno-Medina, & Deaquiz-Oyola, 2015). Existe una gran variabilidad en cuanto a las características físicas y químicas del fruto, que posiblemente se produjo por una selección, a partir de plantas silvestres, practicada desde tiempo atrás (Córdoba & Londoño, 1996).

Este manual es el resultado de una investigación encaminada a estimar los requerimientos nutricionales del cultivo de la mora con espinas en el departamento de Cundinamarca, por tanto, su contenido se enfocará en los resultados obtenidos en esta zona de Colombia. Sin embargo, se aclara que lo consignado en el documento, es aplicable a cultivos de mora de todo el país, ya que la estimación de los requerimientos nutricionales se hace con base en la fenología y la demanda de nutrientes, las cuales son características inherentes y únicas de la especie *Rubus glaucus* Benth., genotipo con espinas.

En Colombia, la producción de mora se concentra en la región andina (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano [AGRONET], 2016), donde se destaca como mayor productor el departamento de Cundinamarca seguido de Santander; por su parte, Valle del Cauca (departamento de tradición frutícola) se encuentra en noveno lugar en la producción (Siembra, 2019).

En el país, 26 departamentos cuentan con el cultivo. En Santander se destacan los municipios de Piedecuesta, Bolívar, Charta, Santa Bárbara y Sucre, con producciones superiores a 20.000 toneladas de mora (AGRONET, 2016). El municipio de Piedecuesta se destaca por poseer la mayor área sembrada y área cosechada del departamento (660 y 640 ha, respectivamente). El municipio de Puente Nacional se caracteriza por presentar mayor rendimiento por hectárea (19,6 t ha⁻¹) con una menor área cosechada (7,5 ha) (Agronet, 2016).

El departamento de Cundinamarca tiene una gran tradición agrícola y es uno de los principales productores de frutas y hortalizas del país. De acuerdo con la plataforma Siembra (2019), Cundinamarca es el primer productor de mora, con 30.970 toneladas de mora reportadas para el año 2017, por encima del departamento de Santander que reporta 29.725 toneladas en producción. En Cundinamarca se destacan los municipios de San Bernardo, Silvania, Arbeláez, Pasca, Fusagasugá, Granada, Junín, El Colegio y Quipile. San Bernardo posee la mayor área sembrada y área cosechada del departamento (1.070 y 1.020 toneladas, respectivamente), y Quipile se caracteriza por el mayor rendimiento por hectárea (14 t ha⁻¹) con menor área cosechada (82 ha) (Agronet, 2016).

Por su parte, el departamento del Valle de Cauca produjo 5.102 toneladas de mora en el año 2017 (Siembra, 2019); allí se destacan, en producción, los municipios de Ginebra, Trujillo, Tuluá, Bolívar, Calima, Palmira y Florida. El municipio de Ginebra cuenta con mayor área sembrada y área cosechada del departamento (220 ha cada una), y el municipio de Trujillo se caracteriza por registrar mayor rendimiento por hectárea (10 t ha⁻¹) con una menor área cosechada (140 ha) (Agronet, 2016).

Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de mora

La mora de Castilla se adapta desde 1.200 hasta 3.500 m de altitud, pero a nivel comercial se cultiva entre 1.800 y 2.400 m. El rango de temperatura óptimo para el adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo se encuentra entre 11 y 18 °C; además, requiere valores de humedad relativa entre 70 % y 80 %. Se debe considerar que las zonas donde se siembre esta especie tienen que recibir una precipitación anual entre

1.500 y 2.500 mm. Finalmente, la planta de mora necesita entre 1.200 y 1.600 horas de brillo solar al año (Morales & Villegas, 2012).

Los suelos que presentan texturas francas son los más adecuados para establecer cultivos de mora, deben presentar, además, un alto contenido de materia orgánica, la cual permite un adecuado almacenamiento de agua, mayor grado de fertilidad y apropiado drenaje natural; siendo esta última, una característica física muy importante, ya que esta planta es altamente susceptible al encharcamiento (Morales & Villegas, 2012).

Los cultivos comerciales de mora en Colombia se ubican generalmente en suelos con pendientes suaves a fuertes, lo cual hace necesario que se establezcan prácticas adecuadas de trazado y conservación del suelo, para evitar o mitigar el impacto causado por efectos de erosión hídrica; asimismo, en zonas donde se presenten altas precipitaciones, se debe procurar sembrar en lotes que presenten cierto grado de pendientes que permitan el movimiento de agua. Respecto a la acidez, se ha encontrado que la mora se adapta bien a suelos ácidos con valores de pH entre 5,2 y 6,7 (Morales & Villegas, 2012).

En épocas de baja precipitación y suelos con baja retención de humedad, la planta de mora produce frutos de mala calidad, pequeños, sin color característico y con valores altos de acidez. Teniendo presente que las raíces de sostenimiento de la planta de mora tienen la capacidad de profundizar a más de 100 cm, es importante verificar que el perfil del suelo no presente limitaciones de profundidad efectiva (niveles freáticos altos o suelos compactados) que no permitan un adecuado crecimiento de las raíces absorbentes y de sostenimiento (Franco & Giraldo, 2002). Al respecto, para un adecuado crecimiento de raíces, las plantas de mora requieren un valor de profundidad efectiva igual o superior a 50 cm (Erazo, 1983). Según Franco y Giraldo (2002), es primordial mantener una adecuada humedad del suelo (suelo a capacidad de campo), ya que la planta de mora está en permanente desarrollo vegetativo y reproductivo. Finalmente, se debe evitar la siembra de mora en suelos que presenten problemas de salinidad ($>2 \text{ dS m}^{-1}$), pues la especie no tolera altas concentraciones de sodio (Casierra-Posada & Hernández, 2006; Cardona, Gutiérrez, Monsalve, & Bonilla-Correa, 2017).

Implementación de las buenas prácticas en fertilización integrada

Las buenas prácticas agrícolas (BPA) son actividades encaminadas a garantizar la sostenibilidad ambiental, económica y social; involucran todos los procesos productivos

que se realizan en cualquier explotación agrícola (actividades que van desde la planificación del cultivo de interés comercial que se quiere sembrar, hasta el proceso de cosecha del órgano de consumo y su posterior transporte). La implementación correcta de estas actividades garantiza la calidad e inocuidad de los productos alimenticios y no alimenticios (Betancur-Cardona et al., 2014).

Este manual se enfocará en las BPA en fertilización (en adelante, Buenas Prácticas en Fertilización Integrada) del cultivo de mora, tomando para ello varios criterios que se mencionarán más adelante. Por lo tanto, para conocer sobre el proceso de actualización e implementación de BPA en general, se debe consultar la Resolución ICA 30021 de abril de 2017 (Instituto Colombiano Agropecuario [ICA], 2017).

Las buenas prácticas en fertilización integrada son actividades probadas por la investigación básica y aplicada, y posteriormente validadas mediante su implementación en condiciones contrastantes y no controladas; las cuales permiten un óptimo potencial de producción, un uso eficiente de los insumos utilizados y una disminución del impacto negativo que puede causar la práctica de fertilización en el medio ambiente (Melgar, 2007).

Es fundamental considerar el concepto básico del Manejo Responsable de Nutrientes, basado en cuatro requisitos (4R) desarrollados por International Plant Nutrition Institute (IPNI, 2013): aplicación de la fuente correcta de nutrimentos en la dosis, momento y lugar correctos. Estos cuatro requisitos son necesarios para un adecuado manejo del proceso de nutrición en las plantas, considerando además las interrelaciones que se dan en las tres dimensiones (económica, social y ambiental). La inclusión de estas dimensiones, en la práctica relacionada con el manejo de nutrientes en cualquier sistema productivo, permite determinar si las actividades enmarcadas en el proceso de la nutrición de las plantas fueron correctas o incorrectas (IPNI, 2013).

Considerando que los 4R (fuente, dosis, momento y lugar) están enmarcados dentro del desarrollo sostenible, es importante que los actores involucrados (administradores, asistentes técnicos, comercializadores y consumidores), en cualquier sistema productivo, entiendan cómo las actividades desarrolladas dentro del manejo de la nutrición, en una especie vegetal, afectan el desempeño del sistema como tal. Finalmente, se debe considerar que para valorar el desempeño de un sistema productivo, este debe incluir las dimensiones económica (productividad y rentabilidad), ambiental (todo lo relacionado con la evaluación de los impactos en la calidad del suelo, agua, aire y la biodiversidad) y por último, la dimensión social en la que se contempla la

evaluación de los impactos causados en la calidad de vida de los actores involucrados y las oportunidades de empleo que genera el sistema productivo (IPNI, 2013).

Es recomendable mantener un equilibrio entre los cuatro requisitos (IPNI, 2013), sin prestarle mucha atención a uno a expensas de los demás. Usualmente, se da más importancia a la dosis, principalmente por la relación que tiene este principio con el costo; los demás criterios generalmente no son tenidos en cuenta y esto limita la oportunidad de mejorar el desempeño de la práctica de fertilización para mejorar la nutrición en las plantas. En el capítulo siguiente se explicarán las herramientas para estimar la dosis correcta que se debe aplicar en las diferentes etapas (momentos) del cultivo de mora (según fenología y absorción de cada nutriente), ello permitirá escoger las fuentes correctas de fertilizantes comerciales. Es importante resaltar que este manual no pretende generar una única recomendación de fertilización, la cual pueda aplicarse en cada cultivo de mora; por el contrario, busca dar las herramientas necesarias para que los asistentes técnicos formulen planes eficientes de fertilización integrada para cultivos de mora, teniendo en cuenta la fertilidad actual de cada suelo, los requerimientos nutricionales en cada estado fenológico del cultivo y las fuentes comerciales disponibles en la zona.



Capítulo II

Fertilización y nutrición en el cultivo de mora

Los productores de mora del país realizan procesos de fertilización de manera empírica, sin tener en cuenta los requerimientos nutricionales de la planta, su estado fenológico, ni aportes de nutrimentos del suelo. Lo anterior, incrementa la brecha tecnológica existente entre los resultados obtenidos en cultivos experimentales o en zonas con alto rendimiento, y el rendimiento promedio nacional del cultivo de mora (Escobar-Torres, 2015).

Fertilización y nutrición

A menudo se hace referencia a ambos términos como si se tratase de lo mismo, pero es importante aclarar que la fertilización es la práctica de aplicación de fertilizantes, la cual puede ser foliar, al suelo (fertilización edáfica) o aplicada como fertirriego. Cuando el suelo es fertilizado, se desarrollan una serie de procesos al interior de este (reacciones químicas tipo redox, descomposición microbiana, respiración del suelo, entre otros), los cuales permiten que la planta tenga los nutrientes necesarios para su crecimiento, proceso

conocido como ‘nutrición’. Basándose en lo anterior, es fundamental mantener una humedad adecuada en el suelo y verificar que no presente problemas de drenajes, debido a que son factores que afectan la eficiencia de la fertilización.

Criterios para formular un plan eficiente de fertilización integrada

Los criterios que se deben tener en cuenta antes de fertilizar el suelo cultivado con mora son:

- Análisis del suelo
- Análisis foliar
- Etapa fenológica
- Requerimientos de nutrientes del cultivo con base en un rendimiento potencial

El conocimiento e interpretación de los cuatro criterios anteriores necesitan de la guía de un ingeniero agrónomo, quien, con base en los resultados de análisis de laboratorio y referencias bibliográficas que detallen el crecimiento y desarrollo de cada cultivo y los nutrientes necesarios para completar cada estado fenológico, formula el plan de fertilización específico para cada cultivo. Si se desconoce uno de los principios anteriores, no se puede hablar de un plan eficiente de fertilización (puesto que no se tiene certeza de las dosis y cada cuanto se debe fertilizar), en este caso solo se habla de una labor de fertilización sin criterio técnico, que es ineficiente, poco práctica y que probablemente incremente los costos de producción, sin lograr los rendimientos óptimos.

Análisis del suelo

Teniendo claro que un plan de fertilización se realiza con base en el análisis químico del suelo, es importante considerar cómo tomar una muestra del suelo para enviar luego a análisis en laboratorio.

Recomendaciones para tomar las muestras del suelo

Materiales

Antes de tomar la muestra para el análisis químico del suelo se debe verificar la disponibilidad de los siguientes materiales: mapa de la finca, machete, barreno holandés,

pala o palín, cuchillo, guantes, balde, bolsas plásticas limpias, marcadores, papel para identificar la(s) muestra(s). Las herramientas tienen que estar completamente limpias, para evitar la alteración de los resultados (Osorio & Ruiz, 2001). El proceso previo al envío de muestras del suelo al laboratorio para su análisis implica los siguientes pasos:

1. Definir la época de muestreo. Procurar que sea en época de inicio de lluvias y mínimo dos meses antes de establecer el cultivo. Se debe considerar el tiempo que tarda el laboratorio en reportar los resultados del análisis, y el tiempo que se requiere para que actúe la enmienda correctiva de acidez (en el caso que se requiera, lo cual es muy probable en suelos cultivados con mora).
2. Frecuencia de muestreo. Para cultivos de mora establecidos, es recomendable que se haga un análisis químico del suelo cada dos años.
3. Delimitación del suelo. Antes de tomar la muestra, es necesario clasificar los diferentes lotes del predio, basados en el cambio de pendiente, tipo de uso (cultivo) del suelo, tipo de fertilizante empleado, entre otros (Osorio & Ruiz, 2001). Cada lote puede presentar suelos con características diferentes de fertilidad y, por lo tanto, deberá ser considerado como una unidad de submuestreo o muestreo (en lo posible) (figura 1). Es decir, se deben tomar muestras separadas por cada lote, más aún si estos son mayores a una hectárea.

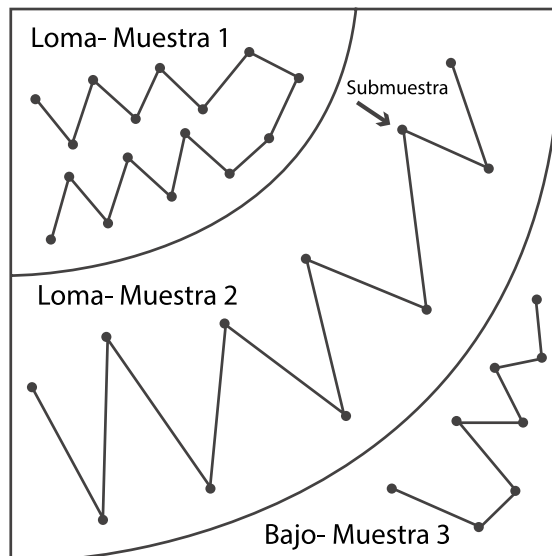


Figura 1. Recorrido en zigzag para cada parte del lote.

Fuente: Elaboración propia

Es recomendable tomar una muestra por cada sistema productivo, teniendo en cuenta el área del lote (30 submuestras por hectárea):

Toma de submuestra. Una muestra del suelo es el resultado de mezclar varias submuestras, las cuales deben ser recogidas previamente y de manera aleatoria, considerando abarcar toda el área a intervenir (Osorio & Ruiz, 2001). Este muestreo aleatorio tiene que hacerse mediante un recorrido en zigzag, tomando la submuestra donde cambie la orientación del recorrido.

En cada punto de muestreo es recomendable retirar piedras, raíces, lombrices e insectos, al igual que las arvenses presentes en un área de 40×40 cm, posteriormente se toman entre 100 y 200 g del suelo, los cuales se depositan en un balde plástico limpio. En caso de utilizar una pala o palín, es aconsejable hacer un hueco en forma de “V” y luego tomar del centro una porción del suelo para transferir al balde. Para el cultivo de mora, se sugiere coger la submuestra a una profundidad entre 0 y 30 cm, pues coincide con la mayor cantidad de raíces absorbentes en el suelo (Morales & Villegas, 2012) (figura 2).

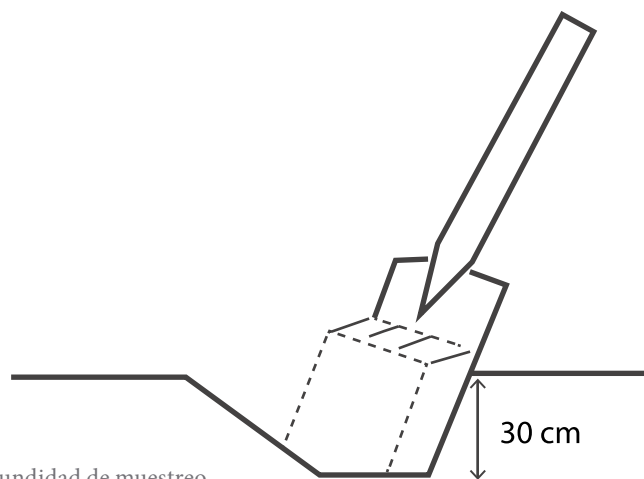


Figura 2. Profundidad de muestreo.

Fuente: Elaboración propia

En terrenos con superficies inferiores a una hectárea, se deben tomar 15 submuestras (mínimo) para mezclarlas y seleccionar, mediante cuarteo diagonal (figura 3), la cantidad total para enviar al laboratorio (1 kg). El cuarteo consiste en poner el suelo sobre un periódico, hacer un círculo, dividirlo en cuatro partes iguales, seleccionar las partes opuestas (sombreados) y desechar las dos partes restantes, luego se repite esta operación hasta tener la cantidad de 1 kg.

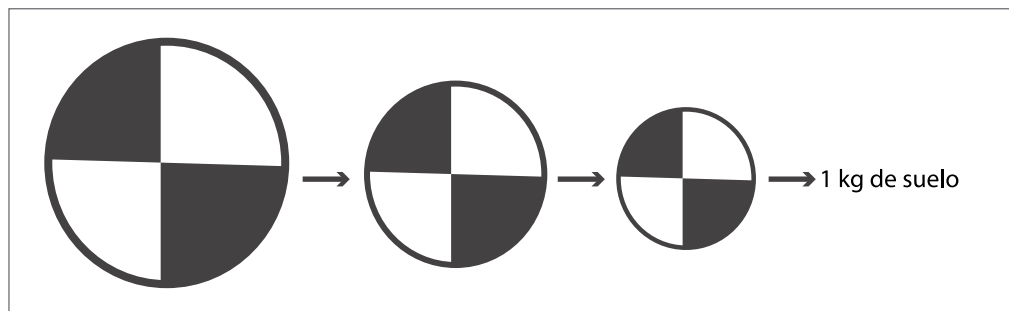


Figura 3. Cuarteo para selección de la muestra que se analizará en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia

Es conveniente guardar un kilo de muestra del suelo, como contramuestra, por si el resultado del análisis arroja un valor atípico, que amerite un nuevo análisis. La contramuestra puede almacenarse seca y en bolsa cerrada por un tiempo de hasta seis meses (Munévar-Martínez, Franco-Bautista, & Arias-Arias, 2016).

El suelo se transfiere a una bolsa plástica limpia, la cual se debe cerrar y marcar con algunos datos básicos para identificar la muestra ante el laboratorio (figura 4).

Identificación de la muestra	
Departamento: _____	Municipio: _____
Vereda: _____	
Nombre y apellidos del productor: _____	
Teléfono fijo/celular: _____	
Fecha: _____	Nombre de la finca: _____
Altitud (m s. n. m.): _____	
Uso anterior del suelo: _____	Uso actual del suelo: _____
Pendiente %: _____	

Figura 4. Identificación de la muestra del suelo.

Fuente: Elaboración propia

La muestra compuesta puede ser mantenida a temperatura ambiente y no expuesta al sol. Si se encuentra muy húmeda, se debe secar a la sombra y almacenarse de nuevo. Para el envío de la muestra debe seleccionarse un laboratorio acreditado con la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005 (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [INVIMA], 2005).

Una vez son entregados los resultados del laboratorio, el ingeniero agrónomo debe considerar algunos factores de interpretación, tales como:

- **pH.** Parámetro que mide el grado de acidez de una solución, en este caso de la solución del suelo. En la escala establecida, 14 es el valor máximo y 7 corresponde al valor de un suelo neutro. Los suelos ácidos presentan valores inferiores a 7 y los suelos básicos, por encima de este valor, aunque generalmente los suelos básicos o alcalinos se asocian a valores de pH superiores a 8. La mayoría de las plantas cultivadas presentan un mejor crecimiento y desarrollo con valores de pH cercanos a la neutralidad (Garrido-Valero, 1994). Este parámetro químico es un indicador de la disponibilidad de nutrientes, debido a que la presencia de iones de aluminio (Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$), hidrogeniones e hidroxilos son determinantes de la solubilidad de los iones del suelo considerados como nutrientes para las plantas (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , MoO_4^{2-} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2}) e igualmente están relacionados con la baja disponibilidad de bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+). Por ejemplo, cuando un suelo tiene un $\text{pH} \geq 6,5$, la abundancia de hidroxilos (OH^-) produce la precipitación (en forma de hidróxidos) de iones metálicos como Fe^{+3} , Mn^{+2} , Cu^{+2} y Zn^{+2} , haciéndolos no disponibles (insolubles) para que las raíces de las plantas los puedan absorber. Igualmente, estos altos valores de pH causan un exceso en la concentración de calcio soluble, ocasionando una menor solubilidad de iones fosfatos, a causa de la formación de fosfato de calcio (precipitado insoluble). En regiones con altos valores de precipitación, los suelos tienden a presentar valores de pH muy bajos ($\leq 5,0$) y con ello, una baja disponibilidad de bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+). En condiciones de acidez, micronutrientes de importancia como el boro (H_3BO_3) presentan una alta solubilidad, pero con valores de pH superiores a 6,5 disminuyen su disponibilidad para ser absorbidos por las raíces de las plantas. En contraste, en suelos con valores de $\text{pH} < 5,5$, iones como el molibdato (MoO_4^{2-}) están poco disponibles, y su solubilidad tiende a aumentar a medida que se incrementan los valores de pH de la solución del suelo (Osorio, 2012).
- **Conductividad Eléctrica (CE).** Parámetro que mide de manera indirecta la cantidad de sales presentes en una muestra del suelo (Garrido-Valero, 1994). El laboratorio

de salinidad de Estados Unidos (Salinity Laboratory Staff, 1954) clasifica los suelos agrícolas como no salinos, cuando presentan valores de CE entre 0 y 2 dS m⁻¹.

- **Materia orgánica (MO).** La materia orgánica del suelo (MOS) está formada por compuestos derivados de restos de organismos vegetales y animales, y sus respectivos productos de desecho. La MOS presenta varios compuestos de complejidad variable, los cuales se encuentran en un continuo proceso de transformación, que abarcan desde la incorporación de residuos animales y de los cultivos, hasta la formación de compuestos húmicos, los cuales necesitan de periodos muy extensos de transformación. La MOS es el resultado de la descomposición de compuestos carbonados en diferentes grados. La permanencia de la materia orgánica en el suelo va desde semanas a siglos. A medida que avanza el tiempo, los compuestos se vuelven más resistentes y estables, presentando características físicas y químicas muy diferentes al material original (Céspedes & Millas, 2015).
- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).** Se refiere a la capacidad del suelo de retener los nutrientes (cationes) necesarios para las plantas, sin que estos se laven o pierdan, gracias a la acción de fuerzas electrostáticas de los coloides del suelo (orgánicos y minerales). Cuanto mayor sea esta capacidad, mayor será la fertilidad natural del suelo (Garrido-Valero, 1994). Mediante el aporte de materia orgánica estable se puede elevar la CIC.
- **Saturación de bases.** Hace referencia al porcentaje de bases intercambiables (Ca⁺², Mg⁺², K⁺ y Na⁺) respecto al valor total de la CIC (Garrido-Valero, 1994). Se utiliza para identificar excesos de una determinada base intercambiable con respecto a las demás.
- **Manejo de la acidez.** Para el manejo de acidez, el cálculo de la cantidad de CaCO₃ (en t ha⁻¹) se efectúa teniendo en cuenta que, según los resultados del análisis del suelo, 1 meq Al⁺³ 100 g⁻¹ del suelo, se neutraliza con 400 kg ha⁻¹ de calcio, cantidad equivalente a 1 t ha⁻¹ de CaCO₃ (Blanco, s.f.). También es posible estimar las toneladas por hectárea de CaCO₃, asumiendo un porcentaje mínimo de aluminio tolerado por el cultivo (se sugiere < 15 %) mediante la fórmula: $\text{CaCO}_3 \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [1,5 \text{ (saturación Al}^{+3} \text{ existente - saturación Al}^{+3} \text{ deseada)} \times \text{CICE}]/100$ (Molina, 1998). El manejo de la acidez se debe plantear con criterio de mejoramiento integrado de la concentración de Ca⁺², Mg⁺² y fósforo, para lo cual se recomienda el uso combinado de materiales enalantes (cales más roca fosfórica) (Castro & Munevar, 2013).

Interpretación del análisis químico de suelo y estado de la fertilidad de suelos cultivados con mora en el departamento Cundinamarca

Dando cumplimiento al primer criterio necesario para establecer un plan eficiente de fertilización integrada, es necesario estimar la fertilidad química del suelo mediante la comparación de los resultados obtenidos con valores de referencia establecidos previamente en la literatura. Con base en lo anterior, los resultados obtenidos a partir de 96 muestras de suelos, tomadas en los municipios de El Colegio, Pasca, San Bernardo y Silvania, pertenecientes al departamento de Cundinamarca, se compararon con los valores de referencia reportados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (1992) y Montenegro-González, Malagón-Castro y Guerrero (1990). Al respecto, en las tablas 1 y 2 se pueden observar los rangos reportados por ICA (1992) para los valores de pH, materia orgánica, fósforo, azufre micronutrientes, CICE, relaciones y saturaciones catiónicas. En lo referente a las saturaciones de aluminio y sodio, ICA (1992) estableció diferentes rangos en suelo; en la tabla 3 se muestran los rangos reportados para sodio, y en la tabla 4, los rangos reportados para aluminio.

Tabla 1. Rangos de pH encontrados

Parámetro	Extremadamente ácido	Muy fuertemente ácido	Fuertemente ácido	Adecuado
pH	3,5 a 4,5	4,6 a 5,0	5,1 a 5,5	5,5 a 6,5

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (1992)

Tabla 2. Rangos de materia orgánica, fósforo, azufre, micronutrientes, CICE, relaciones y saturaciones catiónicas

Parámetro	Bajo	Medio	Alto
Materia orgánica (%) (clima frío)	< 5	5,1 a 10	> 10,1
Fósforo (mg kg ⁻¹)	< 15	15,1 a 30	> 30,1
Azufre (mg kg ⁻¹)	< 12	12,1 a 18	> 18,1
Hierro (mg kg ⁻¹)	< 10	10,1 a 20	> 20,1
Boro (mg kg ⁻¹)	< 0,25	0,26 a 0,6	> 0,61
Cobre (mg kg ⁻¹)	< 1	1,1 a 3	> 3,1
Manganeso (mg kg ⁻¹)	< 5	5,1 a 10	> 10,1
Zinc (mg kg ⁻¹)	< 2	2,1 a 6	> 6,1
CICE (meq 100 g ⁻¹)	< 8	8,1 a 15	> 15,1

(Continúa)

(Continuación tabla 2)

Ca/Mg	< 2	2,1 a 4	> 4,1
Ca/K	< 12	12,1 a 15	> 15,1
Mg/K	< 6	6,1 a 8	> 8,1
Ca+Mg/K	< 12	12,1 a 20	> 20,1
Saturación de potasio (%)	< 2	2,1 a 3	> 3,1
Saturación de calcio (%)	< 30	30,1 a 50	> 50,1
Saturación de magnesio (%)	< 15	15,1 a 25	> 25,1

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (1992)

Tabla 3. Rangos de saturación de sodio

Parámetro (%)	Bajo	Medio	Ideal	Alto
Saturación de sodio	< 5	5,1 a 7	> 7,1 a 15	< 15,1

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (1992)

Tabla 4. Rangos de saturación de aluminio

Parámetro (%)	Ideal	Aceptable	Alto
Saturación de aluminio	0	0,1 a 15	> 15,1

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (1992)

Con base en los valores reportados por ICA (1992) y Montenegro-González et al. (1990) (para el caso de las clases texturales), en las tablas 5, 6, 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos a partir de muestras de suelos tomadas en los municipios de El Colegio, Pasca, San Bernardo y Sylvania (Cundinamarca). Estos datos están categorizados según valores de referencia, mediante frecuencias absolutas y relativas (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [CORPOICA], 2017). Los datos que se presentan a continuación hacen parte de un estudio (realizado por los autores) sobre diferentes suelos sembrados con mora, y permiten inferir una condición aproximada del estado de la fertilidad actual de los suelos que se encuentran cultivados con esta especie frutal.

En la tabla 5 se observa que cerca del 20 % de las muestras de los suelos analizados presentaron valores adecuados de pH, lo cual equivale a decir que más del 80 % de las muestras de los suelos analizados presentaron valores de pH ácidos (inferiores a 5,5), indicando problemas de toxicidad por aluminio y baja solubilidad de las bases intercambiables. Lo anterior indica la necesidad de hacer un proceso de encalado previo a la siembra de mora en los suelos donde tradicionalmente se siembra esta especie.

Tabla 5. Frecuencias absolutas y relativas del análisis textural y químico (pH, materia orgánica, fósforo y azufre) del suelo en cada localidad

Localidad	N.º	Textura					pH				Materia orgánica (%)			Fósforo (mg kg ⁻¹)			Azufre (mg kg ⁻¹)		
		AF	F	FA	Far	FArA	EA	MFA	FAC	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
San Bernardo	35	6	4	4	6	15	11	14	3	7	33	1	1	2	5	28	4	15	16
		17%	11%	11%	17%	43%	31%	40%	9%	20%	94%	3%	3%	6%	14%	80%	11%	43%	46%
Pasca	21	5	0	8	3	5	2	6	7	20	15	2	4	1	4	16	11	4	6
		24%	0%	38%	14%	24%	10%	29%	33%	28%	71%	10%	19%	5%	19%	76%	52%	19%	29%
Silvania	18	0	3	4	1	10	2	10	3	20	16	2	0	1	2	15	9	7	2
		0%	17%	22%	6%	56%	11%	56%	17%	16%	89%	11%	0%	6%	11%	83%	50%	39%	11%
El Colegio	22	5	4	2	2	9	3	11	5	16	20	1	1	1	4	17	3	5	14
		23%	18%	9%	9%	41%	14%	50%	23%	27%	91%	5%	5%	5%	18%	77%	14%	23%	64%
Total	96	16	11	18	12	39	18	41	18	19	84	6	6	5	15	76	27	31	38
		17%	11%	19%	13%	41%	19%	43%	19%	19%	88%	6%	6%	5%	16%	79%	28%	32%	40%

AF: Arenoso Franco; F: Franco; FA: Franco Arenoso; FAR: Franco arcilloso; FArA: Franco Arcillo Arenoso (Montenegro-González et al., 1990); EA: Extremadamente ácido; MFA: Muy fuertemente ácido; FAC: Fuertemente ácido; B: Bajo; M: Medio; A: Alto.
Fuente: Elaboración propia

En lo referente al contenido edáfico de micronutrientes, en la tabla 6 se observa que 93 % de las muestras analizadas presentaron valores altos de hierro, lo cual está asociado a los valores bajos de pH, que permiten una mayor solubilidad de este micronutriente. En contraste, cerca de 60 % de las muestras del suelo presentan bajos contenidos de cobre, algo importante a considerar al momento de realizar aplicaciones foliares de micronutrientes en el cultivo de mora.

Tabla 6. Frecuencias absolutas y relativas del análisis de micronutrientes del suelo en cada localidad

Localidad	N.º	Fe (mg kg ⁻¹)			B (mg kg ⁻¹)			Cu (mg kg ⁻¹)			Mn (mg kg ⁻¹)			Zn (mg kg ⁻¹)		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
San Bernardo	35	0	1	34	2	26	7	20	14	1	9	17	9	13	16	6
		0%	3%	97%	6%	74%	20%	57%	40%	3%	26%	49%	26%	37%	46%	17%
Pasca	21	5	0	16	2	9	10	16	2	3	5	4	12	3	17	1
		24%	0%	76%	10%	43%	48%	76%	10%	14%	24%	19%	57%	14%	81%	5%
Silvania	18	0	1	17	0	14	4	8	9	1	13	4	1	8	10	0
		0%	6%	94%	0%	78%	22%	44%	50%	6%	72%	22%	6%	44%	56%	0%
El Colegio	22	0	0	22	1	18	3	11	9	2	9	9	4	11	10	1
		0%	0%	100%	5%	82%	14%	50%	41%	9%	41%	41%	18%	50%	45%	5%
Total	96	5	2	89	5	67	24	55	34	7	36	34	26	35	53	8
		5%	2%	93%	5%	70%	25%	57%	35%	7%	38%	35%	27%	36%	55%	8%

B: Bajo; M: Medio; A: Alto.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7 se observa que más de 90 % de las muestras analizadas y provenientes de suelos cultivados con mora en el departamento de Cundinamarca presentan valores bajos de capacidad de intercambio catiónico, debido principalmente a un bajo contenido de bases intercambiables. Igualmente, las relaciones catiónicas desbalanceadas evidencian baja concentración de magnesio en comparación con calcio y potasio.

Tabla 7. Frecuencias absolutas y relativas del análisis químico (CICE y relaciones catiónicas) del suelo en cada localidad

Localidad	N.º	CICE (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)			Ca/Mg			Ca/K			Mg/K			Ca+Mg/K		
		B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A
San Bernardo	35	33	1	1	0	4	31	24	2	9	35	0	0	21	8	6
		94 %	3 %	3 %	0 %	11 %	89 %	69 %	6 %	26 %	100 %	0 %	0 %	60 %	23 %	17 %
Pasca	21	16	5	0	0	4	17	7	7	7	21	0	0	6	10	5
		76 %	24 %	0 %	0 %	19 %	81 %	33 %	33 %	33 %	100 %	0 %	0 %	29 %	48 %	24 %
Silvania	18	17	1	0	0	1	17	15	2	1	18	0	0	12	6	0
		94 %	6 %	0 %	0 %	6 %	94 %	83 %	11 %	6 %	100 %	0 %	0 %	67 %	33 %	0 %
El Colegio	22	22	0	0	0	3	19	15	1	6	22	0	0	13	4	5
		100 %	0 %	0 %	0 %	14 %	86 %	68 %	5 %	27 %	100 %	0 %	0 %	59 %	18 %	23 %
Total	96	88	7	1	0	12	84	61	12	23	96	0	0	52	28	16
		92 %	7 %	1 %	0 %	13 %	88 %	64 %	13 %	24 %	100 %	0 %	0 %	54 %	29 %	17 %

B: Bajo; M: Medio; A: Alto.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se evidencia que 60 % de las muestras del suelo presentan saturaciones de aluminio superiores al 15 %, valores que están asociados generalmente a pH inferiores a 5 y que hace necesario que se realice un proceso de encalado, con el objetivo de disminuir estos valores de saturación.

Tabla 8. Frecuencias absolutas y relativas del análisis químico (saturaciones) del suelo en cada localidad

Localidad	N.º	% Saturación de sodio				% Saturación de potasio			% Saturación de calcio			% Saturación de Magnesio			% Saturación de Aluminio		
		B	M	I	A	B	M	A	B	M	A	B	M	A	I	AC	A
San Bernardo	35	34	0	1	0	0	2	33	1	14	20	33	2	0	0	7	28
		97 %	0 %	3 %	0 %	0 %	6 %	94 %	3 %	40 %	57 %	94 %	6 %	0 %	0 %	20 %	80 %
Pasca	21	21	0	0	0	0	2	19	0	1	20	17	4	0	0	15	6
		100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	10 %	90 %	0 %	5 %	95 %	81 %	19 %	0 %	0 %	71 %	29 %
Silvania	18	18	0	0	0	0	1	17	0	7	11	18	0	0	0	0	18
		100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	6 %	94 %	0 %	39 %	61 %	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %	100 %
El Colegio	22	21	0	1	0	0	0	22	1	6	15	20	2	0	0	16	6
		95 %	0 %	5 %	0 %	0 %	0 %	100 %	5 %	27 %	68 %	91 %	9 %	0 %	0 %	73 %	27 %
Total	96	94	0	2	0	0	5	91	2	28	66	88	8	0	0	38	58
		98 %	0 %	2 %	0 %	0 %	5 %	95 %	2 %	29 %	69 %	92 %	8 %	0 %	0 %	40 %	60 %

B: Bajo; M: Medio; I: Ideal; Ac: Acceptable; A: Alto.

Fuente: Elaboración propia

En las tablas anteriores, es importante resaltar que la deficiencia de azufre en suelos cultivados de la franja tropical de Latinoamérica supera el 50 % (Lora & Gómez, 1982). Por su parte, en los suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia se reportan deficiencias de azufre superiores al 93 % (Lora, 1992). Estos valores han sido generalmente asociados a: bajos porcentajes de materia orgánica (Valencia, 1992), pérdida por erosión del suelo (Malavolta & Paulino, 1987), lixiviación de sulfatos en zonas donde se presentan altos valores de precipitación y la extracción que hacen las plantas cultivadas (Burbano, 2001). Es importante considerar que los departamentos con las mayores áreas sembradas en mora presentan suelos derivados de cenizas volcánicas.

Por su parte, la mayoría de los suelos agrícolas de Colombia poseen condiciones ácidas con concentraciones de magnesio soluble consideradas deficientes para los cultivos. Igualmente, se encuentran suelos con valores muy amplios en la relación Ca/Mg, o con relaciones invertidas (Estrada & Guerrero, 1985).

En la tabla 5 se registra la baja concentración de azufre y en las tablas 7 y 8, valores bajos de magnesio que se presentan en suelos de Cundinamarca sembrados con mora. El azufre es un nutriente esencial para la nutrición de plantas (Esptein & Bloom, 2004), promueve el fortalecimiento de la estructura vegetal y favorece la resistencia a bajas temperaturas y al ataque de patógenos e insectos plaga (Beaton, Burns, & Platou, 1968). La concentración de azufre en los tejidos de la planta es similar a la del fósforo (González, 2003), es debido a esto que después de los tres nutrientes esenciales más aplicados en la agricultura (N, P y K), el azufre es considerado como el cuarto elemento más importante para la nutrición de las plantas.

Estudios en algunos suelos de la zona Andina, valles interandinos, Caribe y Llanos Orientales de Colombia reportan baja concentración de azufre disponible (concentraciones inferiores a 10 mg kg^{-1}) (Lora, 1992); situación similar ha sido registrada en algunos cafetales de Nariño, Cauca, Risaralda, Huila, Caldas, Tolima y Quindío, donde los valores promedio en las concentraciones de azufre estuvieron por debajo de 10 mg kg^{-1} (Salgado, 1999; Tibaquirá, 1999). El conocimiento de la fertilidad actual de los suelos sembrados tradicionalmente con mora permite ajustar las recomendaciones generales de fertilización (donde usualmente se usan fuentes compuestas por nitrógeno, fósforo y potasio); siendo necesario incluir fuentes que contengan magnesio y azufre, dos macronutrientes deficientes en gran parte de los suelos de la zona andina colombiana (Estrada & Guerrero, 1985; Lora, 1992).

Análisis foliar

El análisis foliar es una herramienta de diagnóstico que complementa la información del análisis del suelo. Se usa comúnmente en muchos cultivos, especialmente flores y perennes; sin embargo, considerando que el cultivo de mora es de naturaleza semipermanente, este tipo de análisis no es muy utilizado ni conocido. Un adecuado muestreo de tejido foliar y su posterior análisis de concentración de nutrientes mediante técnicas de laboratorio estandarizadas y calibradas, garantiza un eficiente diagnóstico nutricional ajustado a las condiciones particulares del cultivo de mora. Es importante tener en cuenta que antes de realizar el muestreo foliar, se deben considerar tres factores relevantes: la especie vegetal que se tiene cultivada, la edad del cultivo, y las condiciones fisiológicas y fitosanitarias del órgano a muestrear (Castro & Gómez, 2010). El muestreo foliar en el cultivo de mora se realiza posterior a la cosecha (dos a tres semanas después), recolectando 50 hojas de la parte media del tallo o eje primario (Morales & Villegas, 2012). Según estos autores los niveles adecuados de concentraciones foliares de nutrimentos para cultivos de mora en Colombia no han sido establecidos; sin embargo, Castro y Cerdas (2005) establecieron niveles medios de suficiencia (tabla 9). Estos rangos de suficiencia pueden estar subestimando la concentración foliar de fósforo, tal como lo afirman Cardona (2017) y Cardona y Bolaños-Benavides (2018). Igualmente, la Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS) (2004) ha propuesto los diferentes rangos de macronutrientes (tabla 10) y micronutrientes (tabla 11) que requieren las especies del género *Rubus*. Estos rangos reportados por la SBCS (2004) son los que se recomiendan para realizar el diagnóstico nutricional del cultivo de mora.

Tabla 9. Niveles foliares de nutrientes adecuados para el cultivo de mora de Castilla

Macronutriente	%	Micronutriente	mg kg ⁻¹
Nitrógeno	2,2-4	Hierro	50-200
Fósforo	0,2-0,6	Manganeso	25-300
Potasio	1,1-3	Boro	25-75
Calcio	0,6-2,5	Cobre	4-20
Magnesio	0,25-0,8	Zinc	15-100
Azufre	0,2-0,3		

Fuente: Castro y Cerdas (2005)

Tabla 10. Interpretación de análisis foliares de macronutrientes en mora

Interpretación	Macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	%				
Insuficiente	< 1,75	< 0,20	< 1,00	< 0,50	< 0,25
Bajo	1,75-2,19	0,20-0,25	1,00-1,24	0,50-0,59	0,25-0,29
Normal	2,20-3,00	0,26-0,45	1,25-3,00	0,60-2,50	0,30-1,00
Alto	3,01-3,50	0,46-0,65	3,01-4,00	2,51-3,00	1,01-2,00
Excesivo	> 3,50	> 0,65	> 4,00	> 3,00	> 2,00

Fuente: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (sbcs) (2004)

Tabla 11. Interpretación de análisis foliares de micronutrientes en mora

Interpretación	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Insuficiente	< 25	< 3	< 30	< 20	< 12
Bajo	25-29	3-5	30-49	20-49	12-14
Normal	30-80	6-25	50-150	50-300	15-50
Alto	81-100	26-100	151-250	301-1000	51-300
Excesivo	> 100	> 100	> 250	> 1000	> 300

Fuente: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (sbcs) (2004)

Como se puede observar en las tablas 9 y 10, la concentración foliar óptimo de nitrógeno necesario para el crecimiento del cultivo puede variar entre 2 y 5 % de materia seca de las plantas (Castro & Cerdas, 2005; Hart, Strik, & Rempel, 2006; sbcs, 2004). Sin embargo, con el objetivo de evitar inferencias erróneas en el estado nutricional del cultivo de mora, se recomienda utilizar los valores de referencia de sbcs (2004), los cuales coinciden con las concentraciones de nitrógeno que se presentan en cultivos de mora en Colombia (Cardona, 2017; Cardona & Bolaños-Benavides, 2018). Actualmente, en Brasil la recomendación de fertilización con nitrógeno varía según el contenido de materia orgánica del suelo (mos), independientemente del estado de desarrollo de la planta o la concentración foliar. Para los niveles de mos de $\leq 2,5$; 2,6-3,5; 3,6-4,5 y $> 4,5$ %, se recomiendan dosis de 30, 20, 10 y 0 g de N por planta, respectivamente (sbcs, 2004).

Respecto a la concentración foliar del fósforo, en Brasil, los valores adecuados han sido establecidos por sbcs (2004) y Freire (2007) (tabla 10). En Colombia, Castaño,

Morales y Obando (2008) encontraron una concentración de 0,134 % en plantas de *Rubus glaucus* Benth. consideradas con nutrición adecuada. En Oregon (Estados Unidos) el contenido considerado adecuado se sitúa entre 0,16 y 0,18 % (Hart et al., 2006). Lo anterior indica una variación de la concentración adecuada de fósforo en función de la especie, cultivar y del lugar de cultivo. Strik y Bryla (2015) sugieren disminuir el nivel de suficiencia de P durante la producción de frutos en ramas primarias de mora, para disminuir la sobrefertilización cuando no es requerida.

Con relación al potasio, Castaño et al. (2008) encontraron que la relación ideal entre potasio y nitrógeno en tejidos foliares debe ser igual a 1,5 para cultivos de mora en Colombia; igualmente, estos investigadores hallaron una concentración de 1,150 % en plantas de mora consideradas con nutrición adecuada. Para el caso de Brasil, SBCS (2004) y Freire (2007) establecieron los valores de referencia (tabla 10). La diferencia en los valores de referencia de Colombia y Brasil indican que, mediante el uso de las tablas de referencia desarrolladas por SBCS (2004) y Freire (2007), se podrían subestimar las concentraciones foliares de potasio en cultivos de mora en Colombia (Pereira et al., 2015).

Tomando como referencia los rangos reportados por la SBCS (2004) se realizaron análisis foliares en tres cultivos establecidos de Sylvania, Pasca y El Colegio (Cundinamarca), encontrando bajas concentraciones de nutrientes (tablas 12 y 13).

Tabla 12. Concentración foliar de macronutrientes (%) en cultivos de mora establecidos

Localidad	Nitrógeno (N)		Fósforo (P)		Potasio (K)	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
El Colegio	1,45	Insuficiente	0,12	Insuficiente	0,98	Insuficiente
Pasca	1,78	Bajo	0,13	Insuficiente	1,07	Bajo
Sylvania	1,8	Bajo	0,21	Bajo	1,72	Normal
Localidad	Calcio (Ca)		Magnesio (Mg)		Azufre* (S)	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
El Colegio	0,19	Insuficiente	0,11	Insuficiente	0,1	Bajo
Pasca	0,19	Insuficiente	0,14	Insuficiente	0,11	Bajo
Sylvania	0,26	Insuficiente	0,33	Normal	0,1	Bajo

*Valor de referencia utilizado por Castro y Cerdas (2005). Por su parte, Hart et al. (2006) aseguran que concentraciones de S en tejido entre 0,11% y 0,20% son adecuadas. Igualmente, estos autores aseguran que la relación N: S debe ser 15: 1; y es probable que el azufre sea deficiente si la relación es mayor que 20:1.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Concentración foliar de micronutrientes (mg kg⁻¹) en cultivos de mora establecidos

Localidad	Hierro (Fe)		Cobre (Cu)		Manganeso (Mn)	
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
El Colegio	26,91	Insuficiente	2,48	Insuficiente	23,78	Bajo
Pasca	52,45	Normal	1,92	Insuficiente	39,8	Bajo
Silvania	40,54	Bajo	4,49	Bajo	50,18	Normal
Localidad	Zinc (Zn)		Boro (B)			
	Valor	Interpretación	Valor	Interpretación		
El Colegio	38,18	Normal	15,83	Insuficiente		
Pasca	34,7	Normal	18,69	Insuficiente		
Silvania	35,04	Normal	23,4	Insuficiente		

Fuente: Elaboración propia

Con relación a la concentración de zinc en hojas (único nutriente con valores normales) de los cultivos en los tres municipios evaluados, Pereira et al. (2013b) encontraron que en hojas de plantas consideradas con un estado adecuado de la nutrición se sitúa entre 34 y 41 mg kg⁻¹. Cardona (2017) encontró que Fe y Mn son los micronutrientes que más requiere el cultivo de mora en etapa vegetativa. Por su parte, Roveda, Cabra y Ramírez (2008) afirman que los elementos menores fundamentales para el cultivo son Cu, Fe, B y Mn, la aspersión con B debe hacerse por lo menos dos veces al año, y el Mn puede ser aplicado como sulfato.

Los valores anteriores indican cultivos de mora con baja concentración foliar de nutrientes, derivados de la falta de planes eficientes de fertilización según las condiciones edafoclimáticas de cada predio y debido al desconocimiento en los requerimientos nutricionales. Según Castro y Cerdas (2005) y Cardona (2017), el orden en importancia de macronutrientes en el cultivo de mora es el siguiente: N > K > Ca > Mg > P. Con base en lo anterior, en la tabla 12 se observa que, en los tres municipios evaluados, N, P y Ca están en niveles bajos a insuficientes; estos valores se relacionan con los altos contenidos de aluminio en el suelo (tabla 8), los cuales, según Bertsch (1987), desplazan las bases intercambiables (potasio, calcio y magnesio), y si esta condición se presenta en un suelo cultivado con mora, se concluye que el Al reduce la disponibilidad de estos tres cationes intercambiables, que están entre los que más requiere el cultivo (Cardona, 2017; Castro & Cerdas, 2005).

Con el objetivo de utilizar los análisis foliares para formular planes de fertilización en cultivos de *Rubus* spp., Hart et al. (2006) realizaron ensayos donde evaluaron el efecto de las aplicaciones de fuentes fosfóricas, basándose en los contenidos foliares

de P de los cultivos y en los contenidos edáficos de P, mediante la prueba Bray. Los autores encontraron que si el análisis del suelo presenta valores de P entre 0 y 20 mg kg⁻¹ y los cultivos registran una concentración de P inferior a 0,16 %, se debe aplicar entre 67 y 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅; si por el contrario, en el suelo se reportan valores de P entre 20,1 y 40 mg kg⁻¹ y una concentración de P en cultivos entre 0,16 y 0,18 %, se debe aplicar entre 0 y 67 kg ha⁻¹ de P₂O₅, finalmente, si en el suelo se presenta una concentración de P superior a 40,1 mg kg⁻¹ y cultivos con contenidos de P superiores a 0,19 %, los autores recomiendan que no se realicen aplicaciones de fósforo.

Con relación al potasio, Hart et al. (2006) realizaron ensayos donde evaluaron el efecto de las aplicaciones de fuentes potásicas, basándose en la concentración foliar de K de los cultivos de *Rubus* spp. y en los contenidos edáficos de K, mediante la prueba de acetato de amonio. Encontraron que si el análisis del suelo presenta valores de K inferior a 150 mg kg⁻¹ y los cultivos una concentración de K inferior a 1,0 % se debe aplicar entre 67 y 112 kg ha⁻¹ de K₂O; si por el contrario, en el suelo se reportan valores de K entre 150,1 y 350 mg kg⁻¹ y un contenido de K en cultivos entre 1,1 y 1,99 %, se debe aplicar entre 45 y 67 kg ha⁻¹ de K₂O; finalmente, si en el suelo se presenta un contenido de K superior a 350,1 mg kg⁻¹ y cultivos con concentraciones de K superiores a 2,0 %, los autores recomiendan que no se realicen aplicaciones de potasio.

Etapa fenológica

La mora es un cultivo que puede presentar simultáneamente diferentes estados fenológicos: crecimiento vegetativo, reproductivo y productivo; esta característica permite que exista producción durante todo el año. Sin embargo, dicha condición limita la aplicación efectiva de un plan de fertilización homogéneo durante todo el ciclo del cultivo. Por lo anterior, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) estimó la demanda o requerimientos nutricionales del cultivo de la mora en sus diferentes etapas fenológicas, a saber:

- La primera etapa (establecimiento del cultivo o etapa vegetativa) corresponde a la germinación de la semilla (cuando se usa propagación sexual), o inicio de una nueva planta por acodo o estaca (cuando el proceso es por propagación asexual). Esta etapa incluye la propagación del material vegetal en vivero para posteriormente ser trasplantado a campo, teniendo una duración entre seis y siete meses (Franco & Giraldo, 2002).

- La segunda etapa corresponde al crecimiento reproductivo (formación del fruto), y es posterior a la etapa vegetativa. Franco y Giraldo (2002) aseguran que las etapas de desarrollo del fruto de mora varían en tiempo, según la zona y las condiciones predominantes del clima. En general, presenta una duración de seis días de la fase de yema reproductiva a botón floral, 23 días del inicio de floración a la apertura de flor, cinco días de la apertura floral a la polinización, ocho días desde el momento que ocurre la polinización hasta la formación del fruto y, finalmente, 40 días desde que se forma el fruto hasta que ocurre la cosecha de la planta, para un total de 82 días en promedio.
- La tercera etapa es la productiva. Esta inicia entre nueve y diez meses después del trasplante, cuando comienza la producción, la cual se incrementa hasta estabilizarse en el mes 15 (Franco & Giraldo, 2002).

Requerimientos nutricionales de la especie vegetal

En estudios realizados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), desde el año 2013 se estimaron, mediante la aplicación de 25 dosis variables, los requerimientos nutricionales de la mora de Castilla con espinas durante sus etapas de crecimiento vegetativo, reproductivo y productivo. Durante el desarrollo de esta investigación se establecieron las dosis que permitieron la mayor acumulación de materia seca, concentración de nutrientes en tejido vegetal y, por consiguiente, la absorción más alta. La aplicación de estas dosis permitió obtener un rendimiento potencial superior a las 20 t ha⁻¹ año⁻¹, valor similar a lo reportado por el Plan Frutícola Nacional (Asociación Hortofrutícola de Colombia [ASOHOFRUCOL], 2006). Los resultados de esta investigación se detallarán más adelante.

Los tres macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) más el agua son los principales factores que influyen en el crecimiento, desarrollo y el rendimiento económico de las plantas cultivadas (Parry, Flexas, & Medrano, 2005). Considerando lo anterior, se puede afirmar que la fertilización nitrogenada, fosfórica y potásica es de importancia relevante para el desarrollo de la agricultura. Es necesario considerar que, aunque frecuentemente la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio limita el crecimiento y la productividad de varios cultivos, bajo condiciones no controladas (campo), existen otros factores que pueden limitar el potencial productivo de una especie vegetal, entre los que sobresalen aspectos edafoclimáticos, el tipo de cultivo y la fenología de la especie cultivada. Un bajo suministro de nitrógeno, fósforo y

potasio disminuye a nivel celular la división, expansión y permeabilidad de las células vegetales (Hossain, Hanafi, Talib, & Hamdan, 2010), la producción de fotoasimilados, la emisión foliar, el crecimiento (Zhao, Reddy, Kakani, Read, & Carter, 2003; Zhao, Reddy, Kakani, & Reddy, 2005a; Zhao, Reddy, Kakani, Read, & Koti, 2005b) y el rendimiento. Hossain et al. (2010) afirman que la deficiencia nitrogenada afecta más fuertemente el desarrollo foliar que la fotosíntesis, y que la deficiencia de los tres macronutrientes primarios (N, P y K) causan bajas tasas de fotosíntesis, y el proceso de expansión de la hoja se vuelve más lento.

Requerimientos nutricionales del cultivo de la mora de Castilla con espinas en etapa vegetativa, reproductiva y productiva

AGROSAVIA decidió realizar la investigación encaminada a estimar los requerimientos nutricionales de N, P, K y Ca del cultivo de la mora con espinas en sus diferentes etapas fenológicas. Ello se realizó con base en la demanda planteada por la cadena de la mora en 2013 (Siembra, 2013), relacionada con los escasos estudios sobre nutrición y fertilización en el cultivo y el desconocimiento de la demanda nutricional de la especie *Rubus glaucus* Benth. en las diferentes etapas fenológicas, lo cual generaba un problema para los moricultores, ya que aplicaban fertilizantes en dosis que podían exceder los requerimientos nutricionales, incrementando los costos de producción, o aplicaban dosis inferiores a las requeridas, lo que generaba rendimientos inferiores al potencial productivo del cultivo.

A continuación, se detalla la metodología utilizada para cumplir con el objetivo: para realizar la investigación se estableció un cultivo experimental en la finca “La Península” localizada a 04° 25′37,8″ N y 074° 20′22,4″ W (casa del predio), altitud de 2.170 m, vereda Aguabonita (sector centro), municipio de Silvania (Cundinamarca). Se trasplantaron 3.000 plántulas de mora de Castilla con espinas provenientes de propagación por vía sexual (semilla), siendo establecidas a 2,0 × 2,5 m (15.000 m²).

Teniendo en cuenta que, en las diferentes fuentes bibliográficas disponibles, las necesidades nutricionales de la mora son muy contrastantes, se decidió utilizar las dosis reportadas por Vayas (2000), extrapoladas y ajustadas a cada etapa.

Debido a que evaluar tres niveles (dosis) para cada nutriente, bajo una estructura factorial 3⁴, con un total de 81 tratamientos, era poco viable, se recurrió al uso del

diseño central compuesto. Mediante la siguiente ecuación se estimó el número de tratamientos a evaluar:

$$\text{Número de tratamientos} = 2^k + (2 \times k) + 1$$

Dónde: k es el número de factores (nutrimentos N, P, K y Ca), que para este caso serían cuatro (4).

$$\text{Número de tratamientos} = 2^4 + (2 \times 4) + 1 = 16 + 8 + 1 = 25 \text{ tratamientos}$$

Este experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar con tres bloques y 40 plantas como unidad experimental.

Un mes después del trasplante se establecieron los tratamientos de fertilización, teniendo en cuenta los aportes mínimos del suelo y los requerimientos para cada unidad experimental.

Fertilizaciones realizadas durante el experimento:

- Etapa vegetativa: seis fertilizaciones con una frecuencia mensual.
- Etapa reproductiva: una fertilización para floración.
- Etapa productiva: en el primer año de producción se realizaron cinco fertilizaciones, y en el segundo se realizaron cuatro fertilizaciones, todas con una frecuencia bimestral (nueve en total).

Cada aplicación se realizó acorde al crecimiento de la planta, correspondiente a los factores y niveles necesarios para cada etapa del cultivo. La aplicación de fertilizante se hizo en corona y luego, cubriendo con el suelo que salió de la corona (Artunduaga, 2010; Cardona, 2017).

En la tabla 14 se observa que el diseño de tratamientos permitió pasar de evaluar tres niveles para cada factor, a evaluar cinco niveles por factor: dosis alta (extremo superior = 1), media (punto medio = 0), baja (extremo inferior = -1) y las dosis mínimas y máximas (correspondientes a los axiales inferior [-1,41] y superior [1,41], respectivamente). Para el suministro de estos nutrientes se utilizaron las siguientes fuentes granuladas (comerciales) en mezclas variables acorde a cada tratamiento de

fertilización propuesto: urea (46 % N) - DAP (18 % N - 46 % P_2O_5) - MAP (10 % N - 60 % P_2O_5) - KCl (60 % K_2O), y en el caso del aporte de MgO y S se hizo igual para todos los tratamientos con una dosis general de 21 g/planta en cada aplicación y suministradas con kieserita (24 % MgO - 19 % S). En el caso del suministro de elementos menores, este factor se consideró fijo para todos los tratamientos y se realizaron aplicaciones proporcionales en el tiempo, mediante el uso de un producto con 6 % Fe, 6 % Mn, 6 % Zn, 2 % B, 3 % Cu, 3 % L-aminoácidos y 2 % extracto de origen orgánico, en mezcla con 21,4 % CaO, mediante fertirrigación (aplicando un total de 80 g/20 L de 6 % Fe, 6 % Mn, 6 % Zn, 2 % B, 3 % Cu, 3 % L-aminoácidos y 2 % extracto de origen orgánico cada 120 plantas), con un volumen de aplicación de 100 y 300 ml por planta (dependiendo de la etapa fenológica).

Tabla 14. Tratamientos generados para todo el ciclo del cultivo (32,4 meses) (dosis total en kg ha⁻¹)

Tratamiento (T) (dosis)	N	P_2O_5	K_2O	CaO	N	P_2O_5	K_2O	CaO
1	-1	-1	-1	-1	237	83	710	353
2	1	-1	-1	-1	667	83	710	353
3	-1	1	-1	-1	237	287	710	353
4	1	1	-1	-1	667	287	710	353
5	-1	-1	1	-1	237	83	1.141	353
6	1	-1	1	-1	667	83	1.141	353
7	-1	1	1	-1	237	287	1.141	353
8	1	1	1	-1	667	287	1.141	353
9	-1	-1	-1	1	237	83	710	730
10	1	-1	-1	1	667	83	710	730
11	-1	1	-1	1	237	287	710	730
12	1	1	-1	1	667	287	710	730
13	-1	-1	1	1	237	83	1.141	730
14	1	-1	1	1	667	83	1.141	730
15	-1	1	1	1	237	287	1.141	730
16	1	1	1	1	667	287	1.141	730
17	-1,41	0	0	0	147	185	925	541
18	1,41	0	0	0	757	185	925	541
19	0	-1,41	0	0	452	41	925	541
20	0	1,41	0	0	452	330	925	541
21	0	0	-1,41	0	452	185	620	541
22	0	0	1,41	0	452	185	1.231	541

(Continúa)

(Continuación tabla 14)

Tratamiento (T) (dosis)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
23	0	0	0	-1,41	452	185	925	275
24	0	0	0	1,41	452	185	925	808
25	0	0	0	0	452	185	925	541

Fuente: Elaboración propia

En total se realizaron 18 muestreos (18 puntos de extracción): 72, 112, 138, 166, 195 y 225 días después de trasplante (ddt) (etapa vegetativa); 293, 355 y 435 ddt (etapa reproductiva); 481, 548, 625, 681 y 758 ddt (para producción en el año 1); 793, 863, 919 y 972 ddt (para producción en el año dos). Para un periodo total de evaluación de 32,4 meses.

El análisis de tejido vegetal completo (macro y micronutrientes) se realizó en una o dos plantas completas (como unidad de muestreo según tamaño de planta) y según el órgano de la planta a analizar. A cada órgano de la planta se le determinó el contenido de macro y micronutrientes según procedimientos del laboratorio de química analítica de AGROSAVIA, en el centro de investigación Tibaitatá.

Adicionalmente, se realizaron curvas de absorción tomando como referencia cada punto de muestreo. Para determinar la absorción de nutrientes se siguió la metodología utilizada por Bertsch (2005).

A continuación, se describen los resultados de esta investigación, referente a las necesidades nutricionales de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio en cada etapa fenológica del cultivo de mora con espinas, obtenidas con la aplicación de las mejores dosis que permitieron un rendimiento potencial superior a las 20 t ha⁻¹ año⁻¹:

Absorción de nitrógeno (N) durante el ciclo del cultivo de mora

El nitrógeno es el constituyente de los 20 aminoácidos esenciales (es decir, se encuentra en cada proteína), además se puede encontrar en la clorofila y ácidos nucleicos (ARN y ADN) (Taiz & Zeiger, 2013). El nitrógeno estimula el crecimiento de la parte aérea de las plantas (tallos y hojas), promueve la producción de proteínas en frutas y granos, y permite que la planta absorba y utilice nutrientes como fósforo y potasio (Kovacik, Klejdus, Backor, & Repcak, 2007).

Las plantas requieren nitrógeno durante todas sus fases fenológicas, considerándose como épocas críticas: la germinación, el crecimiento, la floración, la emisión de brotes y el desarrollo frutal (Lalatta, 1998). En cultivos de mora, el nitrógeno es el elemento utilizado en mayor cantidad y desempeña un papel principal en el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo; por ello es el elemento más exportado (Cardona, 2017; Pereira, Picolotto, Messias, Potes, & Antunes, 2013a; Pereira et al., 2013b).

Durante la etapa vegetativa del cultivo de mora se presenta una absorción con tendencia lineal y proporcional a la cantidad de nitrógeno suministrado, esta tendencia se observa hasta los 6,5 meses (figura 5). Las plantas de mora que reciben dosis muy altas de calcio ($77,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ CaO}$) tienen una menor absorción de nitrógeno al final de la etapa vegetativa, concordando con lo afirmado por Cardona (2017), quien encontró una correlación negativa entre la absorción de nitrógeno y calcio en plantas de mora. En cuanto a la relación del fósforo con el nitrógeno, generalmente se ha encontrado que estos dos nutrientes tienen una interacción significativa y positiva entre ellos y con el crecimiento de la planta (Sumner & Farina, 1986; Terman, Noggle, & Hunt, 1977), este efecto directo en el crecimiento permite que la planta absorba ambos nutrientes en el tiempo, ocurriendo de esta manera un efecto sinérgico (Sumner & Farina, 1986). Según Cardona (2017), la planta de mora es altamente exigente en nitrógeno durante el crecimiento reproductivo, especialmente en las etapas de yema reproductiva y fruto cuajado, las cuales ocurren a los 293 y 355 ddt, respectivamente (figura 5).

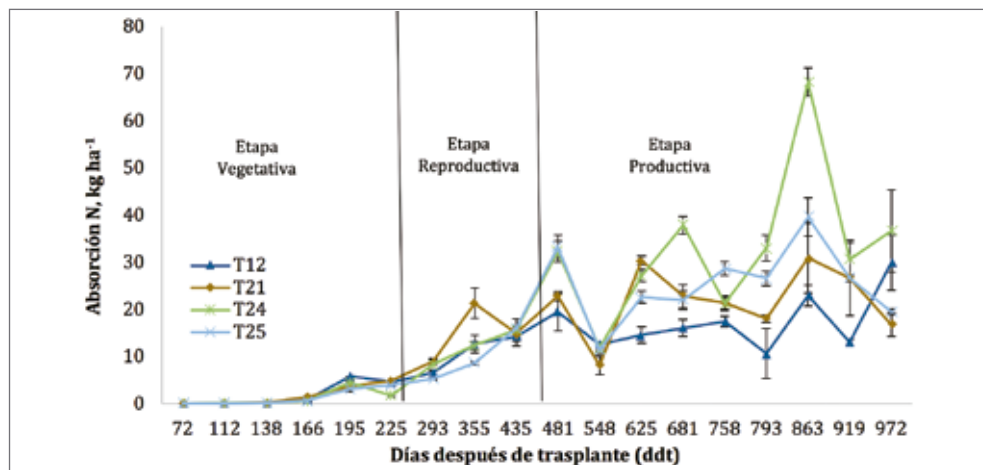


Figura 5. Absorción de nitrógeno durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses) en plantas que recibieron: 667-287-710-730 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T12), 452-185-620-541 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T21), 452-185-925-808 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T24) y 452-185-925-541 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T25).

Fuente: Elaboración propia

Durante la etapa productiva del cultivo de mora es importante considerar las interacciones positivas que tiene el nitrógeno con nutrientes como calcio y potasio. Al respecto, Navarro, Rodríguez y Rodríguez (2002) encontraron que la respuesta de la planta *Cratylia argentea* a la aplicación de nitrógeno, fue mayor a medida que se incrementó la dosis de CaO de 100 a 300 y 500 kg ha⁻¹, observándose un efecto sinérgico de ambos elementos. Esta respuesta coincide con los hallazgos de Rao, Ayarsa y García (1995) en suelos ácidos de Brasil, donde descubrieron que las aplicaciones de calcio influenciaron positivamente en la absorción de nutrimentos por la planta. Por otro lado, el potasio mejora la absorción y transporte del nitrógeno, especialmente en forma de nitratos en las raíces. Se ha comprobado, mediante estudios, que para incrementar la respuesta del nitrógeno en las plantas es importante el suministro adecuado de potasio, con el cual se obtienen rendimientos elevados. Igualmente, cuando se hacen aportes adecuados de potasio, el cultivo responde positivamente a dosis crecientes de nitrógeno. Este sinergismo está basado en que el potasio mejora la movilidad del nitrógeno al interior de las plantas, ya que la deficiencia de potasio ocasiona una elevada concentración de aminoácidos solubles y nitratos en el sistema radical; cuando esto ocurre, la planta, por tener una alta concentración de compuestos nitrogenados, no absorbe más nitratos, ello ocasiona que se detenga la biosíntesis de proteínas, produciendo trastornos en el metabolismo de la planta y generando, finalmente, una disminución en el rendimiento (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI], s.f.).

En la figura 5 se evidencian periodos de máxima y mínima absorción nitrogenada, siendo necesario realizar un fraccionamiento acorde a la demanda nutricional de la planta y garantizando un adecuado suministro en el primer año productivo, para que en el segundo año la planta pueda alcanzar su potencial productivo, mediante la utilización de las reservas de este nutriente. En el análisis de todo el ciclo del cultivo, a partir de los 25 planes de fertilización evaluados durante 32 meses en condiciones de campo, se seleccionaron las cuatro dosis que permitieron la absorción nitrogenada más alta en el cultivo de la mora (figura 5); igualmente, en la figura 5 se observa que la dosis de mejor respuesta en la absorción nitrogenada en la etapa vegetativa y reproductiva, no tuvo el mismo efecto durante la etapa productiva, siendo necesario establecer dosis según la fenología de la planta, e igualmente, una validación de estas dosis en diferentes zonas productoras del país. En la etapa vegetativa y reproductiva, la absorción más alta de N se presentó en las plantas que recibieron 108-105-47-62 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis correspondiente al plan de fertilización del tratamiento 21), lo cual demuestra la importancia de la aplicación de este nutriente durante las etapas iniciales de crecimiento del cultivo y en el inicio de la floración. Posterior a

la etapa reproductiva, la absorción de nitrógeno en la planta de mora es más alta con mayores cantidades de potasio y calcio: 344- 80-640-530 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T24). Hart et al. (2006) y Kuepper, Born y Bachmann (2003) afirman que las recomendaciones de fertilización nitrogenada para *Rubus* spp. dependen de la edad del cultivo, por lo que es necesario realizar aplicaciones con 28 a 56 kg N ha⁻¹ para el año de establecimiento y de 56 a 90 kg N ha⁻¹ en producción. Por otra parte, Rincón y Salas (1987) encontraron que el rendimiento de cultivos de mora (*Rubus glaucus* Benth.) en Venezuela (representado en un aumento de número de frutos) fue mayor con 50 y 100 kg N ha⁻¹, en contraste con plantas sin fertilización nitrogenada.

En la figura 5 se puede observar la máxima absorción nitrogenada al finalizar la etapa vegetativa (225 ddt) y presenta un valor máximo de 6 kg N ha⁻¹. Según Cardona (2017), este incremento en el tiempo indica que se debe hacer un ajuste en los momentos de aplicación del fertilizante nitrogenado, donde el mayor porcentaje de nitrógeno se aplique entre los 4 y 5 meses (figura 5). En relación con la etapa reproductiva, Rempel, Strik y Righetti (2004), en cultivos de *Rubus* spp. en Estados Unidos, encontraron que cuando la fertilización nitrogenada se aplicó un mes antes de la cosecha (fruto verde), la mayor parte del fertilizante fue tomado por las ramas “primocane”, y muy poco fue absorbido por los frutos. Con base en lo anterior, estos autores sugirieron una fertilización fraccionada de nitrógeno, al aplicar 50 % del fertilizante en la primera semana, antes de la emergencia del primocane, y luego sí aplicar el contenido restante del fertilizante un mes antes de la primera cosecha. Cardona (2017) recomienda el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada durante floración de la siguiente manera: 50 % del fertilizante necesario para esta etapa se debe aplicar en la formación de yemas (295 ddt) y el restante, en la fase de fruto cuajado (355 ddt). Este fraccionamiento en la fertilización se detallará más adelante.

Según Pereira et al. (2015), la cantidad de nitrógeno aplicado en el cultivo de *Rubus* spp., puede variar con la edad de las plantas. En Brasil no hay un consenso en la cantidad de nitrógeno que se debe usar en el primer año de establecido el cultivo: algunos autores no recomiendan su aplicación, por el riesgo que existe de quemar las yemas vegetativas (Freire, 2007); otros, aunque aseguran que la aplicación en el primer año es menos necesaria que en los años subsiguientes, sugieren la aplicación de hasta 56 kg ha⁻¹ (Hart et al., 2006). Por su parte, la SBCS (2004) y Freire (2007) recomiendan no aplicar N en el primer año del cultivo, y después, independientemente de la edad de las plantas, aplicar dosis de 0 a 30 g/planta, que bajo un espaciamiento de 0,5 × 3 m equivalen a valores entre 0 y 200 kg N ha⁻¹.

Por otro lado, en un estudio realizado en el sur de Brasil, en un área con contenido de MOS de 1,1 %, en la primera cosecha después de la siembra, la eficiencia productiva máxima se presentó con una dosis de 109 kg N ha⁻¹ y pasó a 155 kg ha⁻¹ de N en la tercera cosecha (Pereira et al., 2013a). Los resultados indican que se requiere una fertilización diferencial, dependiendo de la edad de las plantas, y evidencian también la necesidad de hacer ajustes en las recomendaciones actuales (Pereira et al., 2013a). Así como la fertilización nitrogenada deficitaria puede comprometer el máximo rendimiento del cultivo, el exceso de N puede generar problemas fitosanitarios y medioambientales, además de aumentar el costo de producción.

Absorción de fósforo (P) durante el ciclo del cultivo de mora

Según el *Manual internacional de la fertilidad de los suelos* (Instituto de la Potasa y el Fosfato [INPOFOS], 1997), el fósforo (P) es un nutriente indispensable para el crecimiento de todos los órganos de la planta (hojas, sistema radical, flores y frutos), es un nutrimento necesario para que la planta cumpla su ciclo normal de producción; este nutriente le permite a la planta resistir a diferentes tipos de estrés abióticos como heladas y sequías. El fósforo juega un papel clave en el desarrollo del sistema radical, interviene en la formación del tejido leñoso, en la fructificación, formación y maduración del fruto y en la formación de semillas, estas últimas acumulan la mayor cantidad de P como reserva nutritiva que será usada en su posterior germinación.

Soria y Viteri (1999) mencionan que el fósforo cumple funciones importantes en la fotosíntesis, en el metabolismo de azúcares, almacenamiento y transferencia de la información hereditaria; este nutriente contribuye también a la formación del primer tallo y de la raíz primaria hasta que la nueva planta comienza a realizar las funciones de asimilación; igualmente, permite que la planta tenga una mayor resistencia al ataque de patógenos.

El fósforo participa en la formación de nucleoproteínas, ácidos nucleicos y fosfolípidos, interviene activamente en la división celular, la respiración y la fotosíntesis, la síntesis de carbohidratos, grasas y proteínas, formación de ATP, ADP, NADP⁺ y NADPH, interviene en el proceso de fosforilación oxidativa, promueve el crecimiento y desarrollo radical y por consiguiente de la planta, además acelera los tiempos de floración y fructificación (Rodríguez, 2004; Taiz & Zeiger, 2013).

En investigaciones realizadas por los autores, la máxima absorción de fósforo en plantas de mora se presenta al final de la etapa vegetativa. La evaluación de la curva de

absorción de este nutriente durante el tiempo vegetativo estimado, permitió observar que la planta de mora no requiere de grandes cantidades de fósforo (figura 6). La absorción fosfórica presenta una relación antagónica con el calcio, similar a la observada con el nitrógeno, ya que las plantas que recibieron dosis altas de calcio absorbieron menor cantidad de fósforo al finalizar el periodo vegetativo evaluado, resultados que confirman lo encontrado por Castaño et al. (2008) y Martínez (1995), quienes afirman que en ausencia del calcio, el fósforo alcanza mayores valores en su concentración foliar, debido a que no se precipita como fosfato de calcio. Al igual que ocurrió en la fase vegetativa, las plantas de mora no son exigentes en la absorción de fósforo durante la fase reproductiva (figura 6), sin embargo, en esta fase se encontró una mayor exigencia de este nutriente con respecto a la fase anterior (vegetativa), debido a que el fósforo es necesario para garantizar la floración y reproducción de la planta (Rodríguez-Ortiz, 1998). Al respecto, Cardona (2017) encontró que la planta de mora no es eficiente en la absorción de fósforo, por lo que su tasa de aplicación debe disminuir.

Para Hart et al. (2006) no existen investigaciones definitivas que muestren el efecto de las aplicaciones de fósforo sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de *Rubus* spp. Aunque es un elemento esencial para las plantas, adiciones de P, incluso para suelos con bajos niveles del elemento, raramente resultan en aumentos de rendimiento en el cultivo de *Rubus* spp. (Freire, 2007). No obstante, el P contribuye al crecimiento del sistema radical e interactúa con otros elementos, pudiendo proporcionar el aumento de la producción y calidad de los frutos (Crandall, 1995). En contraste, Tamayo e Hincapié (2000) encontraron que la mejor dosis de fertilizante compuesto para cultivos de mora en Antioquia (Colombia) fue de 160-110-160-30 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y bórax, respectivamente. Estos investigadores también reportaron un efecto negativo de altas aplicaciones de nitrógeno y potasio, los cuales disminuyeron los rendimientos de fruta, pero no así con el fósforo, motivo por el cual infirieron una respuesta bastante alta del cultivo a la fertilización fosfórica bajo las condiciones evaluadas.

En la figura 6 se puede observar que desde el segundo semestre del primer año (posterior al crecimiento vegetativo) hasta el primer semestre del segundo año del cultivo, las plantas que recibieron la dosis más alta de calcio presentaron la mayor absorción de fósforo, en contraste con las plantas que recibieron dosis media y baja de calcio, las cuales mostraron una absorción de fósforo muy baja durante gran parte del periodo de evaluación. Para explicar lo anterior se han dado distintas teorías. La primera teoría supone que el Ca incrementa la velocidad de transporte de P a causa de su efecto en los transportadores de éste; otra teoría indica un efecto pantalla

del Ca en los lugares electronegativos, permitiendo mayor accesibilidad a los puntos más específicos de PO_4^{3-} (Adams, 1980).

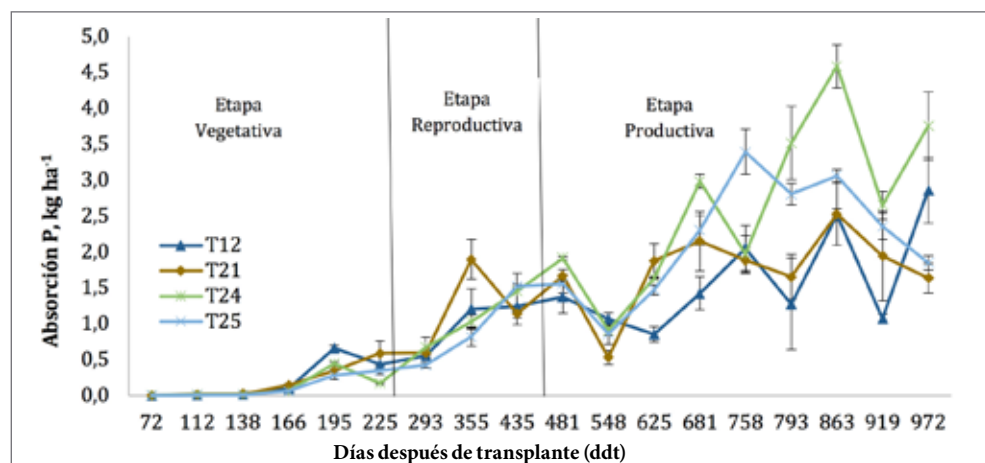


Figura 6. Absorción de fósforo durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses) en plantas que recibieron: 667-287-710-730 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T12), 452-185-620-541 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T21), 452-185-925-808 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T24) y 452-185-925-541 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T25).

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la absorción de fósforo durante todo el ciclo productivo del cultivo experimental de mora permitió seleccionar las cuatro mejores dosis en función de esta variable respuesta, evidenciándose la importancia de este nutriente en la etapa reproductiva y productiva, donde sobresale el plan de fertilización 24 como el que permitió la absorción fosfórica más alta durante las últimas etapas (figura 6), esta dosis se caracterizó por aportar la mayor cantidad de calcio de las dosis evaluadas.

En Brasil las recomendaciones de aplicación de fósforo varían significativamente. Hart et al. (2006) recomiendan la aplicación de 0 a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dependiendo del fósforo disponible en el suelo. Para Dickerson (2000), el fósforo debe ser aplicado en dosis de 57 a 90 kg ha⁻¹. Por su parte, las recomendaciones de fertilización fosfórica en mantenimiento pueden variar de 0 a 15 g/planta de P₂O₅, lo que corresponde a una dosis de 0 a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en un cultivo de *Rubus* spp., con espaciamiento de 0,5 × 3 m (Freire, 2007; SBCS, 2004).

Absorción de potasio (K) durante el ciclo del cultivo de mora

El potasio tiene como función principal facilitar el rápido movimiento de los fotoasimilados en el floema, promoviendo el almacenamiento de glucosa, oxígeno y

energía en semillas, tubérculos y frutos. La adición de potasio incrementa el movimiento de agua y nutrientes en los tejidos conductores (xilema) (Taiz & Zeiger, 2013). Este nutriente permite que la planta tolere diferentes tipos de estrés ocasionados por condiciones climáticas adversas; además, promueve mayor cantidad y extensión del sistema radical, aumentando elongación, turgencia y la tasa de regeneración de la raíz (Soria & Viteri, 1999).

El potasio es considerado como el nutriente de la calidad de la producción de los diferentes cultivos comerciales, promueve la absorción nitrogenada incrementando la producción de proteínas, aumenta el tamaño y forma de granos, semillas, tubérculos y frutos, incentiva la producción de frutos con mayor contenido de jugo, aumenta el contenido de vitamina C, mejora el color y uniformidad de las frutas, permite una maduración más rápida de los frutos, y proporciona mayor resistencia a daños mecánicos por transporte y almacenamiento (Soria & Viteri, 1999).

En esta investigación, el potasio es un nutriente de similar absorción al nitrógeno, y la máxima absorción de este nutriente se presentó al final del periodo vegetativo evaluado (figura 7). Durante los primeros días del crecimiento vegetativo de las plantas de mora trasplantadas se presenta una baja tasa de absorción de potasio, con lo cual se infiere que las plantas de mora durante la fase inicial de esta etapa no requieren de aplicaciones adicionales del nutriente, ya que así cuenta con bajas concentraciones disponibles en el suelo ($0,17 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ en promedio para el suelo en estudio), este no es absorbido en edades tempranas del cultivo, de lo que se deduce que el plan de fertilización para la siembra se debe enfocar en fuentes nitrogenadas y fosfóricas. Lo anterior se evidencia en que las plantas fertilizadas con las cuatro mejores dosis presentaron niveles de potasio entre medio a muy bajo.

Igualmente, durante la etapa reproductiva, la absorción de potasio es similar a la del N que, aunque presenta un valor inferior, evidencia nuevamente lo encontrado durante la etapa vegetativa, en la cual los valores de mayor absorción corresponden a nitrógeno y potasio (figura 7). Al respecto, Cummings (1978) y Townsend (1973) encontraron un aumento en la concentración de potasio foliar con aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en cultivos de arándanos. Es de resaltar que la absorción potásica más baja se presentó en plantas de mora que recibieron una alta dosis de fósforo. Fageria (1983), evaluó el efecto de las interacciones de K con P, Ca y Mg sobre el crecimiento de plantas de *Oryza sativa* en soluciones nutritivas, encontró que el aumento de la concentración de potasio en la solución nutritiva utilizada indujo una reducción tipo cuadrática estadísticamente significativa en la absorción de P y Ca.

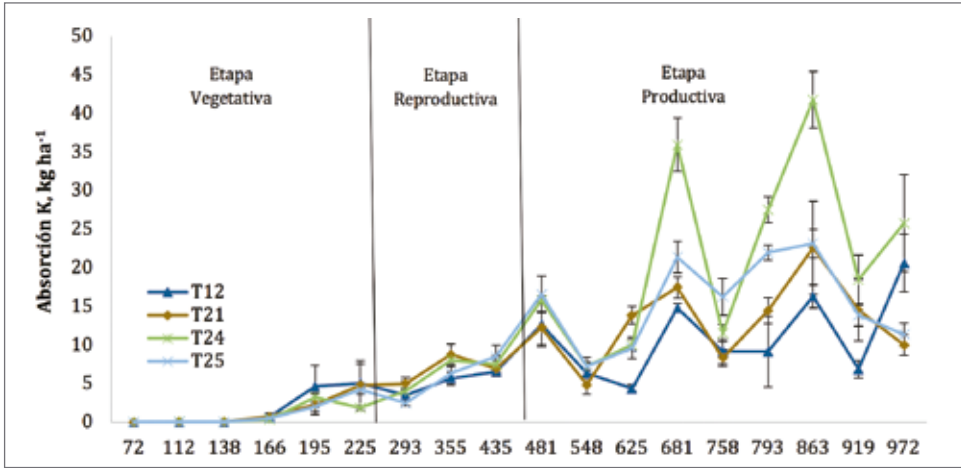


Figura 7. Absorción de potasio durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses) en plantas que recibieron: 667-287-710-730 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T12), 452-185-620-541 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T21), 452-185-925-808 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T24) y 452-185-925-541 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO (dosis T25).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7 se observa que las plantas que recibieron la dosis más baja de potasio tuvieron, durante gran parte del periodo productivo evaluado, la absorción potásica más baja. Sin embargo, plantas que recibieron dosis media de potasio y mínima de calcio presentaron igualmente una absorción potásica inferior durante todo el ciclo productivo evaluado. Castaño et al. (2008) en su estudio sobre evaluación de las deficiencias nutricionales en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth.), en condiciones controladas para bosque montano bajo, encontraron que en ausencia de nitrógeno se presentó una correlación altamente significativa entre las concentraciones de calcio y potasio, porque si aumenta la concentración de calcio al interior de las plantas se favorece la absorción de potasio para su metabolismo, comportamiento similar a lo encontrado por Domínguez (1989).

En resumen, las plantas que recibieron la dosis más baja de potasio presentaron la absorción más alta de este nutriente durante la etapa vegetativa y reproductiva; pero en contraste, durante gran parte del periodo productivo evaluado (primer y segundo año), la absorción potásica fue la más baja. Sin embargo, plantas que recibieron la dosis máxima de calcio, presentaron la absorción potásica más alta durante todo el ciclo productivo evaluado, con lo que se infiere una posible relación entre potasio y calcio, por lo que es necesario (al igual que con el nitrógeno) establecer la dosis según la fenología de la planta y hacer una validación de estas dosis en diferentes zonas productoras del país.

Con relación a la absorción de macronutrientes como el potasio, Spiers y Braswell (2002) hallaron que un incremento en las cantidades de fertilizantes con macronutrientes, produce un incremento en la concentración de nutrientes en hojas de *Rubus* spp. En contraste, Nelson y Martin (1986) no encontraron una relación directa entre el incremento de la fertilización con potasio y el contenido de este nutriente en la hoja de *Rubus* spp.

Es importante resaltar las interacciones que se presentan en los nutrientes foliares. Al respecto, en una investigación desarrollada por Buskienè y Uselis (2008) sobre la influencia de fertilizantes con nitrógeno y potasio en el crecimiento y rendimiento de frambuesa cv. 'Polana', la planta presentó el mayor contenido de nitrógeno foliar (2,57-2,58 %) cuando recibió 120 kg ha⁻¹ N en mezcla con 180 kg ha⁻¹ K, no presentando diferencias significativas en los valores de concentración de N en plantas que recibieron 150 kg ha⁻¹ N. Por su parte, el contenido de potasio en hojas disminuyó cuando las plantas recibieron 150 kg ha⁻¹ N y se mantuvo la dosis de potasio en 180 kg ha⁻¹. De acuerdo con los datos promedio de tres años, cuando las frambuesas se fertilizaron con 120 kg ha⁻¹ N y 180 kg ha⁻¹ K o 150 kg ha⁻¹ N y 240 kg ha⁻¹ K, aumentó el contenido de potasio foliar.

Un cultivo de *Rubus* spp. necesita de altas cantidades de potasio, especialmente en situaciones de alta productividad (Crandall, 1995; Freire, 2007; Pereira et al., 2013a; Antunes, Pereira, Picolotto, Vignolo, & Gonçalves, 2014). Además de proporcionar incrementos en la producción, la fertilización potásica también puede favorecer el tamaño, contenido de azúcar y firmeza de los frutos (Antunes et al., 2014; Hart et al., 2006). Sin embargo, Hart et al. (2006) afirman que, a pesar de la esencialidad del potasio, la cantidad que se debe aplicar no está bien definida. En Brasil la recomendación de fertilización potásica puede variar de 0 a 10 g/planta de K₂O, equivalente a valores entre 0 y 66,7 kg ha⁻¹ (Freire, 2007; SBCS, 2004). En el estado de Oregón (Estados Unidos), las dosis recomendadas varían de 0 a 112 kg ha⁻¹ de K, casi 70 % más que la aplicada en Brasil (Hart et al., 2006).

Absorción de calcio (Ca) durante el ciclo del cultivo de mora

El calcio promueve la conversión de nitrógeno nítrico a formas iónicas necesarias para la elaboración de proteínas, es activador de diferentes sistemas enzimáticos que son reguladores de crecimiento, se requiere de este nutriente para la formación de la pared celular (promoviendo mayor firmeza en frutos) y la división celular; junto con

Mg y K ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos derivados del proceso de respiración (Soria & Viteri, 1999).

La máxima absorción de calcio en el cultivo de mora se presenta a los 225 ddt, la cual coincide con la máxima aplicación de fertilizante cálcico, resaltando que se partió de una concentración edáfica promedio de $0,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Ca}$. En la figura 8 se observa que las plantas de mora que recibieron dosis media de K presentaron, a los 225 ddt, la absorción más baja de Ca, en contraste con las plantas que recibieron dosis bajas y muy bajas de K. Con base en lo anterior, se infiere una relación Ca-K. Ishizuka y Tanaka (1960), al evaluar las interacciones de Ca con otros nutrientes, encontraron que este nutriente estimula la absorción de P y K bajo ciertos rangos de concentración de iones en la solución nutritiva empleada para plantas de *Oryza sativa*. En contraste, Fageria (1983) encontró que con altas concentraciones de Ca se disminuye la absorción de los demás cationes (K y Mg), pero este efecto no fue estadísticamente significativo, siendo una respuesta atribuible a la disminución en la permeabilidad celular. Durante la etapa reproductiva se presenta un aumento creciente en la absorción de calcio (figura 8).

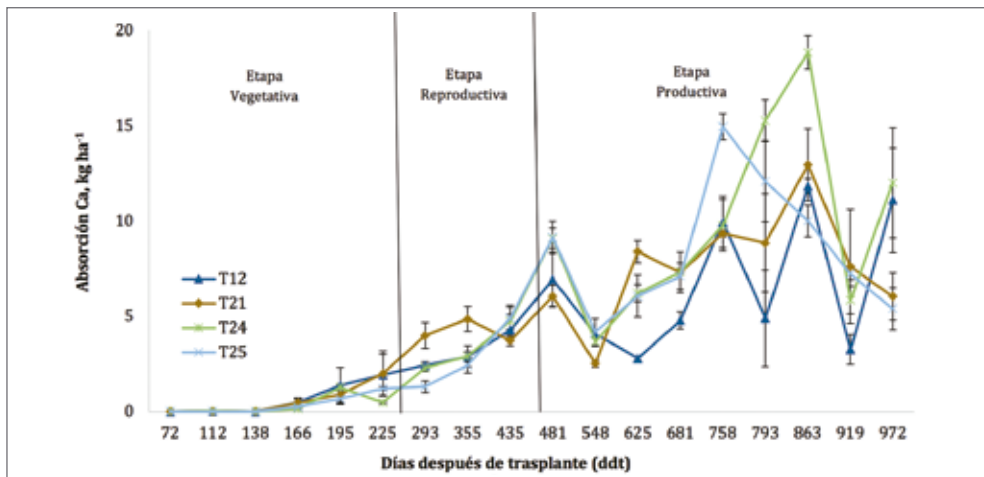


Figura 8. Absorción de calcio durante el ciclo del cultivo de mora (32,4 meses) en plantas que recibieron: 667-287-710-730 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T12), 452-185-620- 541 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T21), 452-185-925-808 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T24) y 452-185-925-541 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 , K_2O y CaO (dosis T25).

Fuente: Elaboración propia

La figura 8 permite inferir que las plantas que recibieron la dosis más baja de calcio presentaron la absorción más baja de este nutriente al finalizar el primer año productivo y por consiguiente, se afectó la absorción del segundo año, es decir que la planta de mora estuvo limitada por este nutriente, en contraste con plantas que recibieron la

dosis más alta de calcio, las cuales presentaron los valores más altos en las épocas de máxima absorción de este nutriente.

Finalmente, el análisis de la absorción de calcio durante todo el ciclo del cultivo de mora, muestra que las plantas que recibieron la dosis 21 presentaron la absorción más alta de este nutriente en etapa vegetativa y reproductiva; pero a partir de la etapa de producción, la absorción más alta de calcio se presentó en plantas que recibieron la dosis 24 (figura 8). Igualmente, en la etapa productiva del cultivo de mora se observa que las plantas que recibieron dosis altas de nitrógeno y fósforo presentaron la absorción más baja de calcio; al respecto, y considerando las aplicaciones con fuentes de urea y DAP, Kawasaki (1995) encontró una interacción negativa entre calcio y nitrógeno amoniacal. En contraste, Fageria y Baligar (1999) descubrieron un incremento cuadrático en la absorción de fósforo mediante aplicaciones de calcio en un Inceptisol sembrado con frijol común.

Con respecto a la relación del calcio con otros nutrientes a nivel foliar, Bishop, Townsend y Craig (1971) encontraron una disminución en la concentración foliar de calcio con incrementos en las tasas de fertilización nitrogenada en arándano maduro 'Bluecorp' y 'Wolcott'. En contraste, Cummings (1978) halló un bajo efecto de la dosis de nitrógeno sobre el contenido de calcio en la hoja de arándano durante crecimiento vegetativo, sin embargo, en el segundo año, este mismo autor encontró una disminución de la concentración de calcio con aplicaciones nitrogenadas.

El manejo eficiente de la fertilización requiere el conocimiento de la demanda nutricional de la planta que se quiere cultivar, tanto en términos de la cantidad de nutrientes (Santos, 2011) como del momento oportuno en que se requiere cada nutriente (Mattson & Van Iersel, 2011).

Según Weinbaum et al. (2001), la determinación de la materia seca, a través de la extracción de plantas en el tiempo, y el análisis de nutrientes en cada tejido se considera, en la actualidad, como el método más confiable para obtener las cantidades y los patrones estacionales de la absorción de nutrientes. El análisis de concentración de nutrientes durante el desarrollo de un cultivo es costoso y dispendioso. Al respecto, esta investigación logró estimar la absorción de N, P, K y Ca durante todo el ciclo del cultivo de la mora.

Con relación a las recomendaciones generales de fertilización para cultivos de mora en Colombia, Bernal y Londoño (2004) sugieren que un plan de fertilización

(modificable según el contenido de nutrientes en el suelo) puede ser el siguiente (calculados con base en las fuentes comerciales que reportan, y para un periodo considerado de 12 meses, sin tener en cuenta el calcio que aportan las enmiendas calcáreas): $128 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ - $365 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ - $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ - $19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ CaO}$. Por su parte, Morales y Villegas (2012) recomiendan, en suelos cultivados con mora y en los que no se cuente con análisis del suelo, aplicar en un periodo de 12 meses: $194 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ - $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ - $180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ - $29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ CaO}$. Franco y Giraldo (2002) sugieren fertilizar con $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, y basados en los contenidos de P y K en el suelo, estos autores recomiendan que en caso de que el contenido de P en suelo sea inferior a 5 mg kg^{-1} , se debe aplicar $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ al año; si el contenido de P en suelo está entre $5,1$ y 10 mg kg^{-1} se deberá aplicar de 45 a $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ al año, y si el contenido de P edáfico es mayor a $10,1 \text{ mg kg}^{-1}$, los investigadores aconsejan aplicar de 20 a $45 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ al año. Para las aplicaciones de K, Franco y Giraldo (2002) proponen tener en cuenta la relación $(\text{Ca} + \text{Mg}) / \text{K}$; si la relación anterior es inferior a 50 , se debe aplicar $90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ al año; si la relación está entre $50,1$ y 70 se deberá aplicar de 100 a $110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ al año; y si es mayor de 70 se tendrá que aplicar de 120 a $130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ al año. Cabezas-Gutiérrez, Galvis y Ochoa (2002) recomiendan para el área de estudio en el departamento de Boyacá, la aplicación de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ y 4 t ha^{-1} de gallinaza durante el primer año de producción del cultivo de mora. Fabara (2001), en Ecuador, sugiere la aplicación de 80 kg ha^{-1} de nitrógeno, 80 kg ha^{-1} de fósforo y 120 kg ha^{-1} de potasio, más 15 toneladas de compost por hectárea cultivada con mora.

En Ecuador, Vayas (2000) aconseja la fertilización con 330 kg ha^{-1} de N, 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 300 kg ha^{-1} de K_2O , en forma fraccionada: 50% a la fase de poda, 25% a la fase del cuaje de los frutos y 25% a la fase de desarrollo de los frutos, durante el ciclo productivo del cultivo. Por su parte, Pérez-Sarabia (2011) sugiere aplicar al cultivo de mora variedad 'Castilla con espinas', 240 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 200 kg ha^{-1} de K_2O , dosis distribuidas en tres fases fenológicas: después de cosecha, yema hinchada y desarrollo del fruto, con lo cual se logra mayor crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta, se acelera la brotación de yema y floración, hay aumento de la calidad de frutos y se incrementa la producción y productividad del cultivo.

Momento oportuno. Fraccionamiento de la fertilización

Con base en las dosis de mejor respuesta en la absorción de los cuatro nutrientes evaluados en la planta de mora en etapa vegetativa, reproductiva y productiva, se realizó el siguiente fraccionamiento de nutrientes:

Para la etapa vegetativa del cultivo de la mora se requiere 83-88-36-54 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO, distribuidos porcentualmente en cinco momentos claves (figura 9). Los primeros seis meses son considerados como la etapa de crecimiento vegetativo de la mora, donde se puede observar que la demanda de potasio es alta a partir de los 90 ddt, mientras que al momento de trasplante la planta de mora requiere del 10 % de los requerimientos de nitrógeno y fósforo estimados para la etapa de crecimiento vegetativo. Finalmente, las aplicaciones de enmiendas calcáreas al momento de trasplante y el calcio disponible en suelo, son suficientes para satisfacer la demanda de este nutriente durante el primer mes de establecido el cultivo (figura 9).

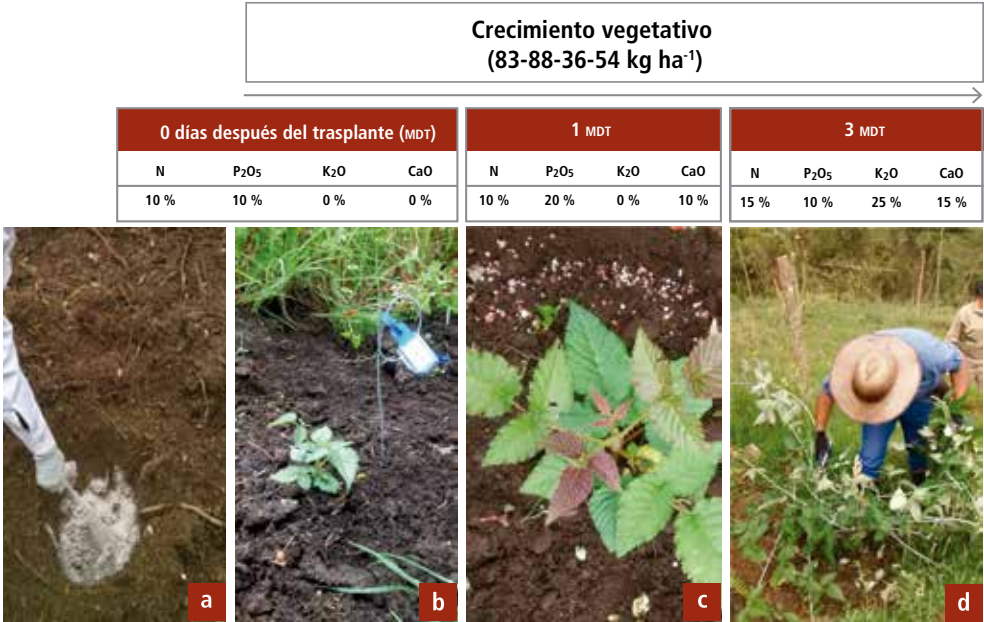


Figura 9. Necesidad de nutrientes durante crecimiento vegetativo de la mora. a. Encalado; b. Siembra; c. Crecimiento vegetativo; d. Poda de formación.

Fuente: Elaboración propia

Para la etapa reproductiva del cultivo de la mora se requiere 25-17-11-8 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO, distribuidos porcentualmente en dos momentos claves (figura 10). En la etapa reproductiva se deben hacer dos fertilizaciones con un mes de espaciamiento: donde 50 % de la dosis, según el plan de fertilización, se aplica en etapa de yema reproductiva (mes 7), y el restante (50 %) se aplica en la fase de fruto cuajado, conocido como estado D2 (Grijalba, Calderón, & Pérez, 2010) (mes 8) (figura 10).



Figura 10. Necesidad de nutrientes hasta la etapa productiva inicial. a. Tutorado y colgado; b. Poda de producción; c. Floración; d. Producción inicial.
Fuente: Elaboración propia

Cada etapa fenológica posee requerimientos nutricionales diferentes y más enfocados en determinados nutrientes, como es el caso del nitrógeno y el fósforo en etapa vegetativa, y el potasio y el calcio en etapa productiva (figuras 11 y 12). Durante el primer y segundo año productivo del cultivo de mora, se requiere 344-80-640- 530, kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O y CaO, distribuidos porcentualmente en seis momentos claves (figuras 11 y 12).

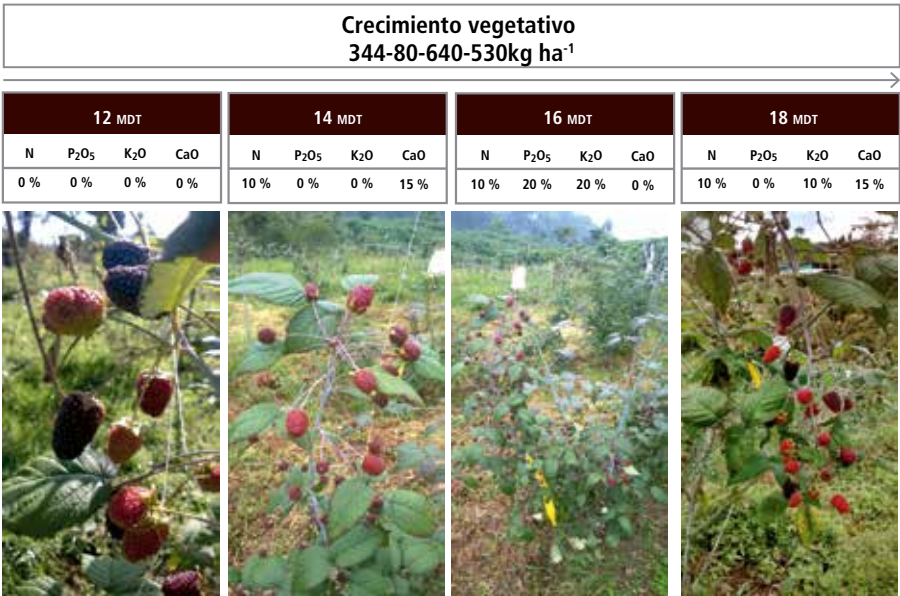


Figura 11. Necesidad de nutrientes durante el primer año de producción.
Fuente: Elaboración propia

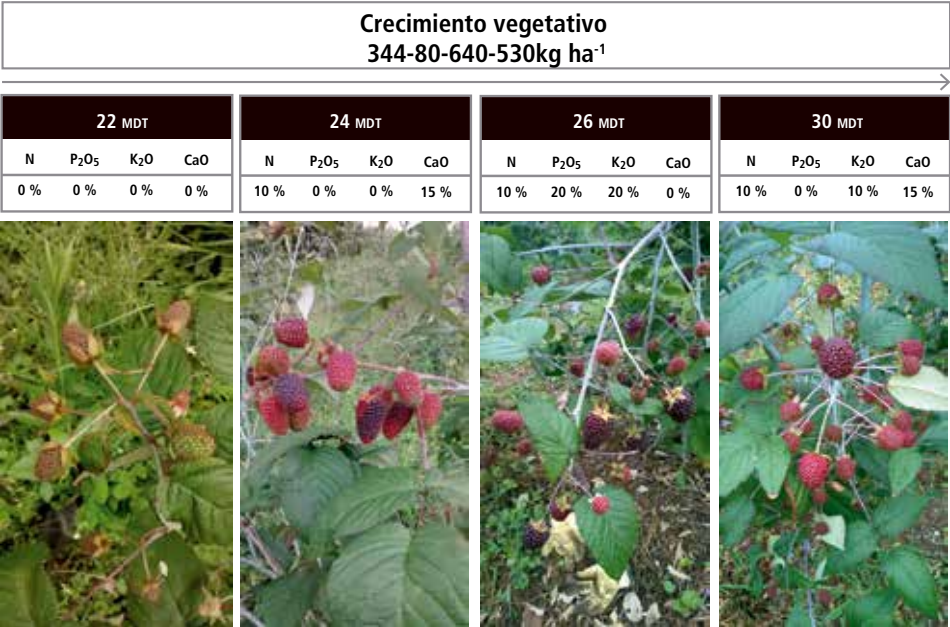


Figura 12. Necesidad de nutrientes durante el segundo año de producción.
Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados agronómicos de esta investigación, durante las diferentes etapas fenológicas se realizaron estimaciones del rendimiento potencial del cultivo de mora con los 25 planes de fertilización evaluados.

Relación entre rendimiento y fertilización del cultivo de mora

El rendimiento potencial más alto del cultivo experimental de mora se presentó en las plantas que recibieron las dosis del plan de fertilización 21, las cuales alcanzaron un potencial superior a 28 t ha⁻¹ año⁻¹ (figura 13).

Como se evidencia en la figura 13, el rendimiento de mora obtenido con el plan de fertilización 21 (que incluyó dosis medias de N, P₂O₅ y CaO y dosis muy baja de K₂O) fue estadísticamente diferente al rendimiento obtenido con el plan de fertilización 7 (que incluyó dosis bajas de N y CaO y dosis altas de P₂O₅ y K₂O) y la dosis 9 (que incluyó dosis bajas de N, P₂O₅ y K₂O y dosis altas de CaO). Considerando lo anterior, se infiere que la aplicación de dosis desbalanceadas (dosis bajas y altas) de los macronutrientes tienen un efecto negativo en la producción de mora de Castilla.

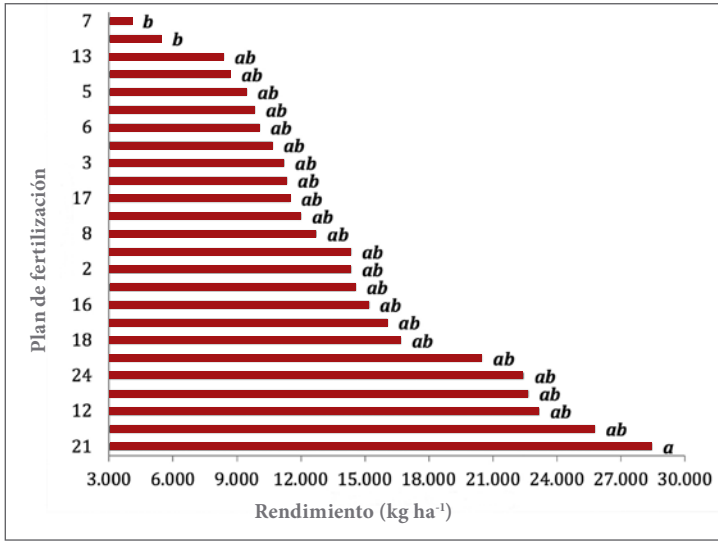


Figura 13. Rendimiento potencial obtenido con los diferentes tratamientos de fertilización. Barras con letra diferente indican diferencias significativas según test de Tukey ($p < 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

En contraste con lo encontrado en este estudio, Franco, Gallego, Tamayo, Heredia y Medina (2000) reportaron durante dos años de evaluación para mora de Castilla, en zonas de clima frío moderado del departamento de Caldas, las mejores respuestas productivas se obtuvieron con la dosis que incluyeron 120 kg ha⁻¹ N, 40 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 120 kg ha⁻¹ K₂O, con producción de 12,53 t ha⁻¹ para el primer año y 12,50 t ha⁻¹ para el segundo año. Igualmente, observaron una tendencia de la mora de Castilla a responder a la fertilización con dosis altas de nitrógeno y potasio.

Fertilización integrada

La fertilización integrada incluye la correcta aplicación de acondicionadores, biofertilizantes, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. A continuación, se describen cada uno de estos productos:

Acondicionadores

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927 de 2012 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2012) establece los siguientes tipos de acondicionadores del suelo:

Acondicionadores inorgánicos con base en elementos secundarios

Estos productos no contienen materia orgánica, N, P, K y micronutrientes declarables. En este grupo se encuentran los materiales de encalado (cales de calcio y magnesio) y otros acondicionadores con elementos secundarios (yeso agrícola, azufre y silicato de magnesio):

- **Cal agrícola:** conocida también como roca caliza o carbonato de calcio. Según la NTC 163 de 1971 (ICONTEC, 1971), el contenido de CaCO_3 expresado como CaO en una cal agrícola comercial no debe ser inferior al 70 % (Osorno-Henao, 2012). Esta enmienda tiene un efecto lento en la corrección de la acidez del suelo y es la más utilizada por los agricultores, sin embargo, no es recomendable cuando el análisis del suelo evidencia una baja saturación de magnesio y una alta relación Ca/Mg, debido a que su alto contenido de calcio puede acentuar el bloqueo del magnesio y su posterior deficiencia.
- **Cal viva:** se obtiene al calcinar totalmente la cal agrícola (CaCO_3) a temperaturas cercanas a 1.000 °C (Molina, 1998), lo que permite que el contenido de calcio (expresado como CaO) se aumente entre 82 % y 96 %. Esta cal tiene una mayor velocidad de reacción (debido a la mayor concentración de calcio), mayor efecto neutralizante y corrección más rápida de la acidez que la cal agrícola (Osorno-Henao, 2012). Considerando lo anterior, este tipo de cal se recomienda para suelos con problemas de acidez pronunciados (valores de pH inferiores a 4,5) y que no presenten efecto buffer (con alta presencia de arcillas caoliníticas) e igualmente, cuyos suelos sean mecanizables, debido a que este material se considera muy cáustico y puede generar quemaduras en la piel, haciendo difícil su manejo y aplicación directa (Molina, 1998).
- **Cal apagada:** este producto se obtiene cuando la cal viva es hidratada con agua (formándose hidróxido de calcio con esta reacción, Ca(OH)_2), además tiene un efecto intermedio en la corrección de la acidez (entre CaCO_3 y CaO) (Molina, 1998), alto grado de solubilidad, y puede llegar a presentar una concentración del 95 % representado en CaO (Osorno-Henao, 2012). Esta cal se recomienda para suelos con baja saturación de calcio y con problemas de acidez no tan pronunciados (valores de pH inferiores a 5).
- **Cal dolomita:** consiste en un carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaMg(CO}_3)_2$). Es importante considerar que una cal es dolomítica si la concentración de

magnesio (MgO) es igual o superior al 15 % (Osorno-Henao, 2012). Aunque su velocidad de reacción es más lenta que la cal agrícola, se debe considerar que la cal dolomita contiene Mg, un nutrimento cuya saturación tiende a ser baja en suelos ácidos de la región andina colombiana (Molina, 1998). Esta cal es la más recomendable para los suelos cultivados con mora en Colombia, caracterizados por presentar valores de pH entre 4,5 y 5,5 (tabla 5), y bajas saturaciones de calcio y magnesio (tabla 8), asimismo la reacción lenta de esta cal limita la capacidad buffer de este tipo de suelos.

- **Magnesita:** es un producto compuesto por 47,8 % de MgCO_3 (carbonato de magnesio) (Osorno-Henao, 2012). Este tipo de cal se recomienda para suelos que presenten una baja saturación de magnesio y una alta relación Ca/Mg.
- **Óxido de magnesio:** es producto de someter la magnesita a calcinación, produciéndose óxido de magnesio (MgO), puede contener hasta 60% de magnesio (Mg) (Molina, 1998). Es recomendable para suelos con valores de pH inferiores a 5 y bajas saturaciones de magnesio. Según Molina (1998), su capacidad de neutralización de la acidez es mayor que la de las otras cales mencionadas, pero debido a su baja solubilidad en agua, este material debe ser finamente molido para que tenga un mayor contacto con las partículas coloidales del suelo.
- **Cal magnesiana:** son mezclas físicas (con diferente relación p/p) de carbonato de calcio y silicato de magnesio (generalmente en relación 60/40, respectivamente) (Osorno-Henao, 2012). Esta cal aporta Ca y Mg en proporciones similares a la cal dolomita, además suministra silicio, un nutriente muy importante que induce resistencia de la planta frente a diferentes tipos de estrés bióticos y abióticos, y también permite complejar al aluminio presente en el suelo. Este tipo de cal es muy recomendable para los suelos cultivados tradicionalmente con mora.
- **Silicato de magnesio:** contiene silicio y magnesio, aumenta el valor del pH inicial y disminuye la toxicidad por aluminio (precipitación). El uso de este acondicionador ha mostrado efectos positivos en la fertilidad del suelo (aumento en la disponibilidad de Ca, Mg, P y Si), aumento del pH, disminución en la disponibilidad de Al, aumento en el rendimiento y mejor sanidad en cultivos de arroz sembrados en suelos ácidos de los llanos orientales de Colombia (Osorno-Henao, 2012).
- **Yeso agrícola:** compuesto por sulfato de calcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), contiene entre 17 % y 27 % de calcio y entre 14 % y 18 % de azufre

(Osorno-Henao, 2012). Esta cal tiene la capacidad de precipitar el aluminio mediante la formación de sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), una forma no tóxica (Castro & Gómez, 2010), y su alta solubilidad permite que llegue hasta el subsuelo, donde usualmente las demás cales no pueden actuar. Este acondicionador se ha usado tradicionalmente en suelos sódicos (Raij, 2008). El yeso agrícola es una sal neutra, por tanto, no modifica significativamente el pH del suelo, modificándolo solamente en 0,3 unidades (Osorno-Henao, 2012). El anión sulfato (SO_4^{2-}) se une a las bases intercambiables formando pares iónicos neutros (CaSO_4 , MgSO_4 y K_2SO_4), lo que mejora la fertilidad del suelo al enriquecer el subsuelo con Ca, Mg y K (Molina, 1998), estimulando el crecimiento más profundo de las raíces, con lo cual se logra una mayor tolerancia a sequías (Alcarde, 1988). Sin embargo, es importante considerar que un exceso en la aplicación de yeso agrícola puede lixiviar (en gran parte) las bases intercambiables (Bernal, 2008), lo que deja la superficie del suelo desbalanceada y pobre químicamente.

- **Enmiendas complejas:** se refiere a la mezcla física o industrial de varios tipos de acondicionadores inorgánicos, siendo la más común y efectiva, la mezcla física de cal agrícola o dolomita con yeso agrícola; generalmente se usa una mezcla en proporción 70 % a 75 % de CaCO_3 (cal agrícola) o CaMgCO_3 (cal dolomita) y 25 % a 30 % de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (yeso agrícola). Esta aplicación conjunta permite reducir más rápidamente los problemas de acidez en el subsuelo, que solo aplicando cal agrícola o dolomita. No se recomienda suministrar altas cantidades de yeso agrícola, debido a que se podría causar un efecto adverso en la química del suelo, incrementándose la lixiviación de bases intercambiables y disminuyendo la fertilidad del suelo intervenido (Osorno-Henao, 2012). Esta mezcla física es muy recomendada para suelos cultivados tradicionalmente con mora, debido a que aporta tres nutrientes (Ca, Mg y S), aumenta el valor de pH y precipita el aluminio a nivel superficial y de subsuelo.

Adicionalmente, (aunque la NTC 1927 de 2012 no los incluye) (ICONTEC, 2012), se deben mencionar los acondicionadores inorgánicos con base en fósforo, como las escorias industriales (escorias básicas subproducto de la fabricación de acero y escorias Thomas subproducto de la fundición del hierro) y la roca fosfórica. Las escorias contienen silicatos de calcio y magnesio (CaSiO_3 y MgSiO_3 , respectivamente), presentan una capacidad neutralizante 50 % inferior al carbonato de calcio (Cales de Antioquia Limitada, 1979), esta capacidad de neutralización se debe a la reacción de hidrólisis del anión silicato (SiO_3^{2-}) (Molina, 1998). Es importante recordar que, en los diferentes tipos de cales, la acción neutralizante de acidez (precipitación de aluminio) la otorgan

los aniones asociados a cada catión divalente (Ca^{+2} y Mg^{+2}) (Osorno-Henao, 2012). En Colombia, las escorias Thomas se comercializan bajo el nombre comercial de “Abono Paz del Río” denominado también calfos o fosfato Thomas, un producto que contiene 10 % de P_2O_5 asimilable y 48 % de CaO . Por su parte, la roca fosfórica es el insumo primario para la elaboración de fertilizantes solubles (fosfato de amonio), es un material poco soluble (Osorno-Henao, 2012), siendo necesario acidularlo previamente o acompañar su aplicación con microorganismos solubilizadores de fósforo.

Acondicionador orgánico

Dentro de esta categoría se encuentra el acondicionador orgánico natural y el acondicionador orgánico sintético de suelos. El primero es clasificado como un producto de origen animal o vegetal, o animal y vegetal, el cual se encuentra estabilizado, y es usado para mejorar las propiedades biológicas y físicas del suelo. La diferencia con un fertilizante orgánico radica en la sumatoria del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, la cual es generalmente inferior a 2 % en los acondicionadores orgánicos. Por su parte, el acondicionador orgánico sintético como los hidrorretenedores pueden tener funciones similares a los acondicionadores orgánicos naturales.

Acondicionador órgano-mineral

Este producto se caracteriza porque sus nutrientes y sustancias benéficas son de origen inorgánico y orgánico, respectivamente. Se obtienen gracias a reacciones químicas, bioquímicas o mezclas físicas de los dos acondicionadores anteriores (orgánico + inorgánico con base en Ca, Mg, S o mezclas de ellos).

Biofertilizantes

La incorporación de fertilizantes biológicos en la fase de vivero o al momento de la siembra o trasplante, promueve el crecimiento y estimula el desarrollo radical de la planta de mora. Un biofertilizante es un producto biológico que contiene microorganismos benéficos del suelo (los cuales fueron aislados e identificados previamente). El biofertilizante inoculado en un suelo cultivado, favorece procesos fisiológicos de nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas, a través de diferentes mecanismos: incrementa la disponibilidad de nutrientes (solubilizadores de fósforo

y fijadores de nitrógeno), y mejora la eficiencia de absorción y movimiento de nutrientes (micorrizas). En algunos casos estos microorganismos favorecen procesos de crecimiento y desarrollo (promotores de crecimiento) o ayudan al manejo de plagas y enfermedades (Roveda et al., 2008).

Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA)

Las plantas tienen una fuerte e importante relación simbiótica con los HFMA, más del 90 % de las plantas terrestres se encuentran micorrizadas de manera natural (Roveda et al., 2008). Los HFMA o comúnmente conocidas como “micorrizas” permiten que las raíces de las plantas tengan una mayor área de exploración en el suelo, mejorando de esta manera la absorción de agua y nutrientes (Kuypert, Cardoso, Onguene, & Van Noordwijk, 2004). La aplicación de micorrizas optimiza el proceso de nutrición y disminuye la cantidad de fertilizantes químicos que generalmente requiere un cultivo.

Investigaciones realizadas por Cabra y Roveda (2007) y Roveda, Cabra, Ramírez y Peñaranda (2007) encontraron que, *vitro* plántulas de mora inoculadas con cepas nativas de HFMA presentaron una mejor tolerancia y adaptación al medio y, a su vez, las plantas de mora inoculadas presentaron una mayor acumulación de materia seca en la parte aérea y radical y una mayor área foliar; igualmente, estas plantas mostraron mayor absorción de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. Al respecto, Cardona et al. (2017) encontraron que la inoculación de micorrizas en plantas de mora permitió una mayor acumulación de materia seca en la parte aérea, debido a que los HFMA posibilitan una mayor absorción nitrogenada. Igualmente, estos investigadores encontraron que las micorrizas permitieron que las plantas de mora tuvieran más absorción de nutrientes, comparadas con aquellas que no fueron inoculadas con estos microorganismos. Por otra parte, Cardona et al. (2017) encontraron que las micorrizas pueden ayudar a que las plantas de mora de Castilla con espinas toleren concentraciones medias de salinidad en el suelo (40 mM de NaCl), lo cual permite una mayor absorción de fósforo y potasio, y una menor absorción de sodio (considerado un catión tóxico).

Es importante aclarar que biofertilizantes como la micorriza, deben aplicarse en la fase de almácigo o vivero, o en su defecto, al momento del trasplante, para que esté en contacto directo con las raíces de las plántulas de mora, y tener presente que se trata de un microorganismo vivo; por tanto, no se recomienda mezclar con fuentes químicas o minerales, ni aplicar un exceso de herbicidas o plaguicidas directamente al

suelo, porque pueden disminuir el potencial de la micorriza. De manera general se recomienda una dosis de 50 a 100 gramos de micorriza comercial por cada sitio de trasplante; verificando previamente que el producto a utilizar cuente con registro ICA.

Bacterias fijadoras de nitrógeno

Franco y Döbereiner (1994) consideran que el nitrógeno es el nutriente más limitante para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Este nutriente en su forma gaseosa, molecular o diatómica (N_2) se encuentra en grandes cantidades en la biósfera, sin embargo, las plantas y los animales no pueden hacer uso de este nutriente bajo este estado químico. Es en este sentido donde se vuelve importante el uso de algunos microorganismos de los dominios *Eubacteria* y *Archaea*, los cuales son los únicos capaces de reducir el nitrógeno molecular mediante el proceso denominado “fijación biológica”, para que posteriormente pueda ser utilizado por las plantas (Baca, Soto, & Pardo, 2000).

Durante los últimos 40 años, las diferentes especies del género *Azotobacter* pertenecientes a la familia Azotobacteraceae, han sido las más estudiadas por la comunidad científica, debido a que son microorganismos aeróbicos, heterótrofos y con la capacidad de fijar nitrógeno (Roveda et al., 2008). Igual atención ha recibido el género *Azospirillum*, perteneciente a la familia Rhodospirillaceae. Es importante considerar que estos dos géneros (*Azotobacter* y *Azospirillum*) son bacterias asimbióticas, fijadoras de nitrógeno (diazotróficas), y ayudan al crecimiento vegetal, promueven la producción de fitohormonas y permiten que las plantas tengan una mayor tolerancia al estrés hídrico y al ataque de plagas y enfermedades; adicionalmente, las especies de estos géneros están asociadas a suelos con valores de pH cercanos a la neutralidad, y sus aislamientos se reducen a medida que los valores de pH disminuyen (suelos ácidos), no encontrándose aislamientos en suelos con valores de pH inferiores a 4,5 (Silva-Montejo, 1989).

Bacterias solubilizadoras de fosfatos

Dentro de los nutrientes necesarios para el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas cultivadas, el fósforo es considerado como el tercer macronutriente más importante (después del nitrógeno y potasio), siendo aplicado por muchos agricultores en diferentes sistemas productivos agrícolas. El problema radica en que, del fósforo total presente en el suelo, 98 % no está en formas disponibles para que sean absorbi-

dos por las raíces de las plantas, ocasionando problemas de deficiencia y disminución en la productividad y los rendimientos obtenidos en los diferentes sistemas productivos agrícolas (Awasthi, Tewari, & Nayyar, 2011). Para corregir estos problemas de disponibilidad, lo que usualmente se ha hecho es la aplicación de fertilizantes fosfóricos derivados de síntesis química, una alternativa que es eficiente pero que resulta costosa, presenta una baja eficiencia en suelos con retención fosfórica, puede provocar daños al medio ambiente debido a la acumulación de fosfatos, y actualmente se presenta una escasez en la materia prima con la que se fabrican los fertilizantes fosfóricos (roca fosfórica). Considerando lo anterior, se deben tener presente las múltiples ventajas del uso de microorganismos capaces de solubilizar el fósforo (Zaidi, Khan, & Ahmad, 2014). La solubilización del fósforo presente en el suelo es el proceso donde se revierten las reacciones de precipitación, gracias a la actividad metabólica de los microorganismos y al sistema radical de las plantas, permitiendo la liberación del fósforo en la solución del suelo y haciéndolo disponible para que las raíces de las plantas lo puedan absorber. Entre los mecanismos responsables de la solubilización del fósforo por actividad microbiana, se encuentran: la producción de ácidos orgánicos y protones asociados a la asimilación de NH_4^+ y actividad respiratoria, y la producción de ácidos orgánicos y dióxido de carbono (Patiño-Torres & Sanclemente-Reyes, 2014).

Para aplicar un biofertilizante catalogado como solubilizador de fósforo es importante considerar la ecología de la rizósfera, donde potencialmente actuarán estos microorganismos, debido a que las condiciones del medio influyen directamente en la expresión y actividad del microorganismo (Patiño-Torres & Sanclemente-Reyes, 2014). En lo referente a los parámetros del suelo, Marschner (2007) afirma que el pH, la conductividad eléctrica (indicador de salinidad) y la temperatura, bajo condiciones de estrés, determinan en gran medida el adecuado desempeño de las bacterias solubilizadoras de fosfatos.

Varias investigaciones han demostrado el efecto benéfico y sinérgico que tiene el uso combinado de biofertilizantes (micorrizas + diazótrofos + solubilizadores de fosfato), en los que se muestran resultados superiores al usar solamente solubilizadores de fósforo (Babana & Antoun, 2007; Valverde et al., 2007). Al respecto, se debe mencionar que comercialmente es posible encontrar productos que contengan solubilizadores de fósforo que complementen la fertilización química tradicional (Patiño-Torres & Sanclemente-Reyes, 2014). En Colombia, se usa *Penicillium janthinellum*, el cual es usado para incrementar los rendimientos del cultivo de arroz entre 5 % y 38 % (Rojas & Moreno, 2008).

Promotores de crecimiento

El uso de microorganismos como *Trichoderma* sp. está asociado generalmente como agente biocontrolador de fitopatógenos, sin embargo, la inoculación de este hongo produce varios efectos positivos, entre los que se destacan: la descomposición de la materia orgánica del suelo, lo cual genera la liberación de nutrientes en formas disponibles para las plantas cultivadas (Godes, 2007) y, adicionalmente presenta actividad solubilizadora de fosfatos (Valencia, Sánchez, Vera, Valero, & Cepeda, 2007; Valero, 2007). Estas propiedades permiten que este microorganismo pueda ser utilizado como biofertilizante en varios productos comerciales (Moreno-Sarmiento, Moreno-Rodríguez, & Uribe-Vélez, 2007), ya que promueve el crecimiento y desarrollo de los cultivos, gracias a la producción de metabolitos que estimulan la división celular (Sutton & Peng, 1993) cuando se inocula en el suelo.

Trichoderma harzianum es capaz de multiplicarse y colonizar el sistema radical de las plantas, liberando auxinas, giberelinas y citoquininas, las cuales estimulan la germinación y desarrollo de las plantas (Altomare, Norvell, Björkman, & Harman, 1999); igualmente, incentiva la producción de ácido indolacético (AIA), hormona que promueve el desarrollo de las raíces, entre otros beneficios (Valencia, Sánchez, & Valero, 2005). Estas hormonas que produce *T. harzianum* actúan acelerando la reproducción celular en tejidos jóvenes, permitiendo que las plantas inoculadas presenten un mayor crecimiento comparadas con plantas no tratadas (Valencia et al., 2007).

El uso de este hongo se ha reportado en diversos cultivos hortícolas, frutales y forestales. En Colombia, es posible encontrar *Trichoderma* sp. comercializado por varias empresas del sector agrícola. Al respecto, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) cuenta con el producto Tricotec®, cuya base es el hongo *Trichoderma koningiopsis* cepa Th003, producto para el manejo de problemas fitosanitarios asociados al mal del talluelo, cuyo agente causal (*Rhizoctonia solani*) afecta severamente cultivos de arroz, además es usado para promover el crecimiento vegetal; asimismo, este producto ha sido utilizado para el manejo de *Botrytis cinerea* en cultivos de mora (Hincapié-Echeverri, Saldarriaga-Cardona, & Díaz-Diez, 2017).

Fertilizantes orgánicos

La aplicación del fertilizante orgánico se puede hacer por medio de fuentes comerciales o mediante elaboración de compost con residuos disponibles en la unidad productiva.

En caso de escoger la primera opción (adquirir el fertilizante a través de una casa comercial) es importante conocer los parámetros de selección y calidad de la fuente comercial. La NTC 5167 de 2011 (ICONTEC, 2011) establece que un abono orgánico debe presentar una ficha técnica como se detalla en la tabla 15.

Tabla 15. Requisitos específicos de un abono orgánico

Parámetros por evaluar	Valores
Contenido de humedad:	
• Para materiales de origen animal	Máximo 20 %
• Para materiales de origen vegetal	Máximo 35 %
Para mezclas, el contenido de humedad dado por el origen del material predominante	Máximo 20 o 35 %
Contenido de carbono orgánico oxidable total	Mínimo 15 %
N, P ₂ O ₅ y K ₂ O totales	Declararlos si cada uno es mayor de 1 %
Capacidad intercambio catiónico	Mínimo 30 cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
Capacidad de retención de humedad	Mínimo su propio peso
pH	Mayor de 4 y menor de 9
Densidad máxima	0,6 g cm ⁻³
Límites máximos en mg kg ⁻¹ de los metales pesados expresados a continuación:	
• Arsénico (As)	41
• Cadmio (Cd)	39
• Cromo (Cr)	1200
• Mercurio (Hg)	17
• Níquel (Ni)	420
• Plomo (Pb)	300

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Luna y Bolaños (2007)

Además, este abono debe presentar un color oscuro, no se deben distinguir los materiales inicialmente utilizados, su olor debe ser agradable (similar al olor del suelo o incluso inoloro), textura suave al tacto, humedad aproximada de 40 %, y se debe encontrar a la temperatura del ambiente (Luna & Bolaños, 2007). En la tabla 16 se encuentran los niveles adecuados de los diferentes nutrientes que debe tener un abono orgánico de buena calidad (Luna & Bolaños, 2007).

Tabla 16. Valores de referencia que definen la calidad de un abono orgánico comercial

Componente químico	Valor sugerido
N + P ₂ O ₅ + K ₂ O	4 % países con mano de obra barata
	6 % países desarrollados y mano de obra costosa
Materia orgánica	20 % Europa
	60 % España
Nitrógeno (N)	2-3 % y que se encuentre estabilizado (es decir sin formas amoniacales que representen pérdida por volatilización o toxicidad para las plantas, como el caso de la gallinaza cruda). Menor a 1 % tienen gestión muy pobre en el suelo
Fósforo (P)	Valores superiores a 1 % buenos y a 2 % excelentes
Hierro (Fe)	Menor a 1 %
Manganeso (Mn)	100 a 500 mg kg ⁻¹
Cobre (Cu)	200 a 300 mg kg ⁻¹
Zinc (Zn)	100 a 350 mg kg ⁻¹
Boro (B)	60 mg kg ⁻¹
Calcio (Ca)	Mayor al contenido de magnesio (Mg) y potasio (K)

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Luna y Bolaños (2007)

Dosis por utilizar

La dosis por planta dependerá básicamente del porcentaje de materia orgánica o carbono orgánico del suelo y de los recursos económicos con los que se cuente; se puede utilizar una dosis mínima de 1 kg por planta, hasta dosis de 3 a 4 kg cada tres o cuatro meses. Cabe anotar que los abonos orgánicos, así como los biofertilizantes, tienen mejor efecto si son aplicados a la siembra o en edades tempranas del cultivo de mora.

En el caso de escoger la segunda opción (elaborar el compost en la unidad productiva), y con base en los residuos generados de las podas en el cultivo de mora, es importante considerar los siguientes aspectos, reportados por Luna y Bolaños (2007):

- Relación Carbono (C)/ Nitrógeno (N). En condiciones de clima frío y frío moderado (clima adecuado para el crecimiento y desarrollo del cultivo de la mora) se sugiere considerar relaciones C/N cercanas a 35/1, lo cual permite que al final del proceso, cuando el compost esté maduro (listo para ser usado como

abono) presente una relación 20/1 a 25/1, para asegurar una mejor mineralización de la materia orgánica y eficiente aprovechamiento del nitrógeno.

- Obtención de una relación C/N óptima. Es importante considerar que, para realizar las mezclas de residuos orgánicos, cada uno de estos presenta diferente relación C/N, y que de esta relación depende la velocidad para su transformación y la calidad del abono, así:
 - Residuos orgánicos de rápida descomposición y relación C/N baja (inferior a 25): hace referencia a residuos vegetales verdes y jóvenes (ricos en celulosa, azúcares solubles, minerales y nitrógeno).
 - Residuos orgánicos de lenta descomposición y relación C/N alta (superior a 25): hace referencia por el contrario al anterior grupo, a residuos vegetales secos, viejos (ricos en lignina, carbono, pobre en azúcares solubles y minerales).

Por tanto, Luna y Bolaños (2007) recomiendan que para lograr una relación C/N óptima, se sugiere mezclar residuos orgánicos con relaciones altas y bajas.

Teniendo en cuenta lo planteado, a continuación, se explica el procedimiento para producir un abono orgánico de buena calidad, con base en los insumos que se pueden encontrar en un sistema productivo de mora:

- En una unidad productiva cultivada con mora, algunos agricultores pueden contar con vacas y gallinas, esto proporcionará las fuentes principales necesarias para la elaboración del compost. La fuente vegetal puede surgir de las ramas provenientes de las podas que se hacen al cultivo de mora, y la fuente animal puede provenir del estiércol de vacas, cerdos o gallinas.
- Determinar la relación C/N inicial por cada fuente de residuos o subproductos orgánicos, tal como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Relación C/N total de los residuos orgánicos planteados

Residuos orgánicos	Número de partes a utilizar	Relación C/N
Poda de mora	1	100
Estiércol de vaca	1	40
Estiércol de gallina	1	14
Total	3	154
Relación C/N final	51	

Fuente: Elaboración propia

Los residuos derivados de la poda de mora presentan una relación C/N bastante alta, debido a que el agricultor recolecta (como se sugiere) cada quince días los residuos de poda y debe esperar a tener una cantidad suficiente para la elaboración del compost, por ello este material se irá lignificando (mayor concentración de carbono) con el tiempo.

Totalizando la relación C/N se observa un valor de 154. Si se asume que se va a utilizar una parte volumétrica (un balde, una carretada, un bulto, etc.) de cada una de las fuentes de residuos orgánicos, se puede observar una relación C/N promedio de: $154/3 = 51$, en donde 154 corresponde a la relación C/N total y 3 al número de partes a utilizar.

Teniendo en cuenta que la relación C/N promedio debe ser cercana a 35/1, es necesario incrementar el número de partes a utilizar de la fuente más rica en nitrógeno (gallinaza, bovinaza u otro estiércol), tal como se detalla en la tabla 18.

Tabla 18. Incremento del contenido de nitrógeno

Residuos orgánicos	Número de partes a utilizar	Relación C/N
Poda de mora	1	100
Estiércol de vaca	1	40
Estiércol de gallina	3	42
Total	5	182
Relación C/N final	36	

Fuente: Elaboración propia

Con el ajuste realizado, incrementando las partes de estiércol frente a las de residuos de mora, se logra la relación C/N deseada, cercana a 35.

Fertilizantes químicos

La NTC 1927 de 2012 (Icontec, 2012) establece que los fertilizantes químicos son sales inorgánicas obtenidas por extracción o por procesos industriales químicos o físicos. Dentro de este grupo se encuentran los fertilizantes simples y compuestos con base en nitrógeno, fósforo y potasio, fertilizantes con base en elementos secundarios y fertilizantes con base en micronutrientes. Para cultivos de mora, es recomendable utilizar fertilizantes simples y hacer las respectivas mezclas en cada unidad productiva. Dentro de los fertilizantes más recomendados para cultivos de mora, se encuentran:

- **Urea:** contiene 46 % de nitrógeno total.
- **DAP:** contiene 46 % de P_2O_5 y 18 % de nitrógeno total.
- **KCl:** contiene 60 % de K_2O .
- **Kieserita:** contiene MgO y S (el contenido de cada nutriente varía según la casa comercial que los distribuye).
- **Nitrato de calcio granulado:** contiene nitrógeno total y CaO (el contenido de cada nutriente varía según la casa comercial que los distribuye).
- Para el caso de los micronutrientes se recomiendan aplicaciones foliares, según las curvas de absorción planteadas por Cardona (2017).

Forma de aplicación de los fertilizantes químicos

Generalmente los cultivos de mora se establecen en suelos con pendientes inclinadas y onduladas, por lo cual es necesario que el fertilizante se aplique en corona o cobertura, realizando primero una deshierba y plateo (figura 14), luego se hace una corona de 5 a 10 cm de profundidad, para aplicar el fertilizante a 20 cm del tallo y luego se cubre con el suelo que salió de la corona (Artunduaga, 2010; Cardona, 2017). Sin embargo, en investigaciones realizadas por AGROSAVIA (datos no publicados) se encontró que la mayor cantidad de raíces absorbentes, en la planta de mora, se encuentran de 0 a 20 cm de profundidad y entre 40 y 60 cm de la macolla (base de los tallos), por lo cual es conveniente realizar la aplicación del fertilizante en esta zona.



Figura 14. Planta de mora sin presencia de arvenses y con el fertilizante cubierto. La flecha roja indica el sitio donde se aplica el fertilizante.

Fuente: Elaboración propia

Análisis económico de la tecnología generada: fertilización

Con el fin de buscar mayor adopción de esta oferta tecnológica sobre la fertilización integrada y eficiente para el cultivo de mora, se realizaron algunas estimaciones económicas en función de la tecnología recomendada, a partir de los resultados obtenidos.

Teniendo en cuenta la producción obtenida con cada tratamiento planteado, se valoraron los costos económicos fijos como la utilización de mano de obra, costos de instalación y sostenimiento del cultivo y la utilización de recursos como insumos fitosanitarios, se calcularon igualmente los costos variables correspondientes a la cantidad del fertilizante aplicado en cada tratamiento. En cuanto a los beneficios económicos se valoró lo concerniente a la producción de mora. Posteriormente se calculó el valor presente neto (VPN) (Zuluaga-Ossa & Ossa-Alzate, 2012), relación B/C y valor porcentual de la fertilización.

Dentro de las 25 dosis evaluadas se encontró que 18 fueron viables económicamente, siendo los planes de fertilización 4, 12, 21, 24 y 25 los que maximizaron la inversión (figura 15). Los VPN por encima de 0 indican factibilidad del tratamiento de fertilización.

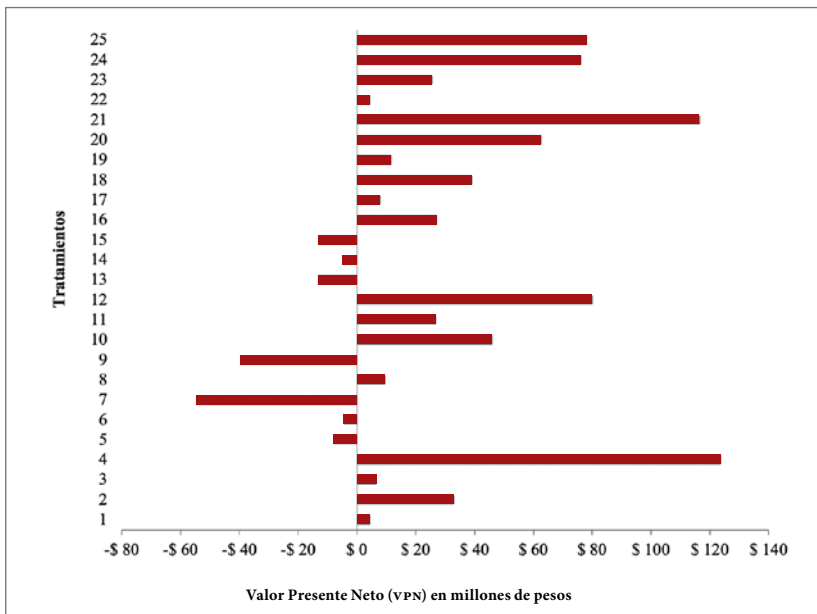


Figura 15. Valor Presente Neto (VPN) obtenido con cada dosis de fertilización.

Fuente: Elaboración propia

Los planes de fertilización correspondientes a los tratamientos 21, 4, 12, 24 y 25 fueron las que generaron las relaciones beneficio/costo más altas, siendo estas las más adecuadas para una posterior validación (figura 16). Relaciones por encima de 1 indican retorno en la inversión y una ganancia adicional.

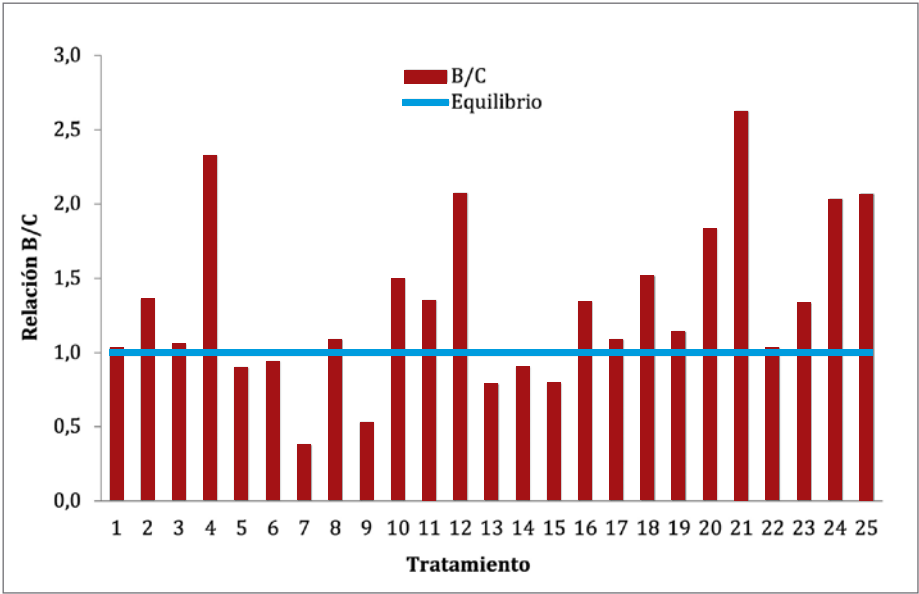


Figura 16. Relación beneficio/costo obtenida con la utilización de las diferentes dosis de fertilización.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se encuentran los costos totales relacionados con las diferentes dosis de fertilización, y los demás costos asociados con el establecimiento y mantenimiento del cultivo de mora. Los valores medios (dosis) en la fertilización son los más rentables, debido a que las dosis que permiten a las plantas producir más mora son los que están con dosis media de fertilizantes.

Tabla 19. Costos totales (fijos + variables) y rendimiento obtenido con cada dosis de fertilización

Tratamiento (T) (dosis)	Costos fijos/ha/año	Costos variables/ha/año	Total costos/ha/año	Valor porcentual de la fertilización (costos variables)	Rendimiento (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
1	\$21.166.322	\$1.619.522	\$22.785.844	7,1 %	10.668
2	\$21.319.743	\$2.078.222	\$23.397.965	8,9 %	14.352
3	\$21.194.936	\$2.266.957	\$23.461.893	9,7 %	11.216
4	\$21.790.092	\$2.908.428	\$24.698.519	11,8 %	25.789
5	\$21.123.577	\$2.241.477	\$23.365.054	9,6 %	9.456

(Continúa)

(Continuación tabla 19)

Tratamiento (T) (dosis)	Costos fijos/ ha/año	Costos variables/ha/ año	Total costos/ha/año	Valor porcentual de la fertilización (costos variables)	Rendimiento (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)
6	\$21.151.680	\$2.611.643	\$23.763.323	11,0 %	10.060
7	\$20.911.892	\$2.888.912	\$23.800.804	12,1 %	4.056
8	\$21.281.634	\$4.834.740	\$26.116.374	18,5 %	12.726
9	\$20.958.649	\$1.908.692	\$22.867.341	8,3 %	5.456
10	\$21.391.800	\$2.367.392	\$23.759.191	10,0 %	16.064
11	\$21.333.572	\$2.556.127	\$23.889.699	10,7 %	14.576
12	\$21.687.426	\$3.197.598	\$24.885.024	12,8 %	23.176
13	\$21.083.160	\$2.530.647	\$23.613.807	10,7 %	8.384
14	\$21.146.731	\$2.989.347	\$24.136.078	12,4 %	9.844
15	\$21.102.401	\$3.178.082	\$24.280.483	13,1 %	8.700
16	\$21.371.092	\$3.819.553	\$25.190.645	15,2 %	15.192
17	\$21.206.262	\$2.268.377	\$23.474.639	9,7 %	11.496
18	\$21.423.534	\$3.023.117	\$24.446.651	12,4 %	16.687
19	\$21.225.624	\$2.103.795	\$23.329.420	9,0 %	12.016
20	\$21.580.329	\$3.298.938	\$24.879.268	13,3 %	20.500
21	\$21.892.013	\$2.260.461	\$24.152.474	9,4 %	28.472
22	\$21.208.666	\$3.138.973	\$24.347.638	12,9 %	11.340
23	\$21.323.508	\$2.493.549	\$23.817.058	10,5 %	14.342
24	\$21.655.087	\$2.911.239	\$24.566.326	11,9 %	22.446
25	\$21.661.440	\$2.699.717	\$24.361.156	11,1 %	22.656

Fuente: Elaboración propia

La variable rendimiento (tabla 19) indica que las dosis que más peso registraron en el año fueron: 21, 4, 25, 24 y 12, con las cuales las plantas de mora produjeron un rendimiento por encima de los 10 kg año⁻¹ por planta.



Los autores

Martha Marina Bolaños Benavides

mmbolanos@agrosavia.co

Bióloga de la Universidad del Cauca, con maestría y doctorado de la Universidad Nacional de Colombia. El énfasis de sus investigaciones ha sido el manejo eficiente de fertilización integrada: química, biofertilizantes y orgánica; y sus efectos en suelos y en rendimiento de cultivos, a partir de sus requerimientos nutricionales. Además de las interacciones rizosféricas de plantas de interés agrícola y su manejo; y en enzimas del suelo, producción agroecológica y opciones tecnológicas para enfrentar variabilidad y cambio climático. Con respecto a sus publicaciones, cuenta con más de 35 artículos científicos publicados, 10 libros y 29 capítulos de libro, más de 30 direcciones de trabajos de pregrado y posgrado. Actualmente se desempeña como investigadora PhD en AGROSAVIA y es miembro del Panel Técnico Intergubernamental sobre Suelos (ITPS), de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS) y otras redes de científicos.

William Andrés Cardona

wcardona@agrosavia.co

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas, con maestría en ciencias agrarias de la Universidad Nacional de Colombia. Sus investigaciones se han centrado en las áreas de conservación de suelos de ladera y nutrición de cultivos, con énfasis en el desarrollo de planes de muestreo para determinar propiedades físicas, químicas y biológicas con el fin de elaborar un análisis integral del suelo, para finalmente formular y aplicar planes completos de fertilización, tendientes a asegurar la calidad ambiental de este importante recurso no renovable. Cuenta con experiencia en la estimación del efecto benéfico de las prácticas de biofertilización y la fertilización

orgánica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y en el efecto positivo de este tipo de fertilización sobre la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) al ambiente; y con conocimientos de fisiología de frutales (mora, lulo, plátano, gulupa y bananito) en temas como sombrío, anegamiento, podas, tolerancia a salinidad y nutrición mineral. Actualmente se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA.

Referencias

- Adams, F. (1980). Interactions of phosphorus with other elements in soil and plants. En R. C. Dinauer (Ed.), *The role of phosphorus in agriculture* (pp. 655-680). EE. UU., Madison: American Society of Agronomy.
- Alcarde, J. C. (1988). Contraditória, confusa e polemica: é a situacao do uso do gesso na agricultura. *Informacoes Agronomicas. POTAFOS*, 41, 1-3.
- Altomare, C., Norvell, W. A., Björkman, T., & Harman, G. E. (1999). Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and environmental microbiology*, 65(7), 2926-2933.
- Antunes, L. E., Pereira, I., Picolotto, L., Vignolo, G. K., & Gonçalves, M. (2014). Produção de amoreira-preta no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36(1), 100-111. doi:10.1590/0100-2945-450/13.
- 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, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/3637/1/7006001.2010.pdf>.
- Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol). (2006). *Plan Frutícola Nacional. Diagnóstico y Análisis de los Recursos para la Fruticultura Colombiana*. Recuperado de http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_18_DIAGNOSTICO%20FRUTICOLA%20NACIONAL.pdf.
- Awasthi, R., Tewari, R., & Nayyar, H. (2011). Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. *International Research Journal of Microbiology* 2(12), 484-503.
- Babana, A. H., & Antoun, H. (2007). Effect of Tilemsi phosphate rock-solubilizing microorganisms on phosphorus uptake and yield of field-grown wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mali. En E. Velázquez, & C. Rodríguez-Barrueco (Eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization* (pp. 51-58). Salamanca, España: Springer.

- Baca, B., Soto, L., & Pardo, M. (2000). Fijación biológica del nitrógeno. *Elementos*, 38, 43-49.
- Beaton, J. D., Burns G. R., & Platou, J. P. (1968). *Determination of sulphur in soil and plant material* [Boletín técnico N. ° 14]. Washington, EE. UU.: The Sulphur Institute.
- Bernal, J. (2008). *Pastos y forrajes tropicales. Manejos de praderas* [Tomo 1, 5.a ed.]. Bogotá, Colombia: Editorial Rocca.
- Bernal, J. A., & Londoño, M. (2004). *El cultivo de la mora de Castilla: algunas prácticas de manejo agronómico* [documento de trabajo]. Rionegro, Antioquia, Colombia: Centro de Investigación La Selva, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Bertsch, F. (1987). *Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica* (2.ª ed.). San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Bertsch, F. (2005). *Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización* [Informaciones agronómicas, N.º 57]. Quito, Ecuador: Instituto de la Potasa y el Fósforo (Inpofos).
- Betancur-Cardona, E., García-Valencia, E. L., Barrera-Bello, E., Quejada-Rovira, O., Rodríguez-Mariaca, H. D., & Arroyave-Tobón, I. C. (2014). *Manual técnico del cultivo de mora bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, Gobernación de Antioquia y Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA).
- Bishop, R. F., Townsend, L. R., & Craig, D. L. (1971). Effect of source and rate of N and Mg on nutrient levels in highbush blueberry levels and fruit. *HortScience*, 6, 37-38.
- Blanco, J. (s.f.). *Acondicionadores y mejoradores del suelo*. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/7.pdf.
- Burbano, O. H. (2001). El azufre en el suelo. En F. Silva (Ed.), *Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura* (pp. 24-49). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Buskiené, L., & Uselis, N. (2008). The influence of nitrogen and potassium fertilizers on the growth and yield of raspberries cv. 'Polana'. *Agronomy Research*, 6(1), 27-35.
- Cabezas-Gutiérrez, M., Galvis, J. C., & Ochoa, R. (2002). Eficiencia agronómica y económica de la aplicación de gallinaza y fósforo en mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) para la zona fría de Boyacá. En Corpoica, Universidad Pontificia Bolivariana, Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales, Medellín, *Memorias del IV Seminario de Frutales de Clima Frío Moderado* (pp. 189-194). Medellín, Colombia: Autor.

- Cabra, L., & Roveda, G. (2007). *Efecto de las micorrizas arbusculares en la aclimatación de vitro plántulas de mora Rubus glaucus* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Cales de Antioquia Limitada. (1979). *Encalado agrícola, 100 preguntas y respuestas*. Medellín, Colombia: National Lime Association.
- Cardona, W. A. (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.
- Cardona, W. A., & Bolaños, M. M. (2018). Estimation of reference values of foliar concentration of N, P, K y Ca, adjusted to andean blackberry crops (*Rubus glaucus* Benth.) in Colombia. En *Memories del 21st world congress of soil science*. Rio de Janeiro, Brasil: Brazilian Soil Science Society (SBCS).
- Cardona, W. A., Gutiérrez Díaz, J. S., Monsalve, O. I., & Bonilla-Correa, C. R. (2017). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento vegetativo de plantas de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) micorrizadas y sin micorrizar. *Revista Colombiana Ciencias Hortícolas*, 11(2), 253-266.
- Casierra-Posada, F., & Hernández, H. L. (2006). Evapotranspiración y distribución de materia seca en plantas de mora (*Rubus* sp.) bajo estrés salino. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 9(1), 85-95.
- Castañó, C. A., Morales, C. S., & Obando, F. H. (2008). Evaluación de las deficiencias nutricionales en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus*) en condiciones controladas para bosque montano bajo. *Agronomía*, 16(1), 75-88.
- Castro, H., & Munevar, Ó. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 409-416.
- Castro, H. F., & Gómez, M. I. (2010). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. En O. Burbano, & M. Silva (Eds.), *Ciencias del Suelo: Principios Básicos* (pp. 213-303). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de las Ciencias de Suelo.
- Castro, J., & Cerdas, M. (2005). *Mora (Rubus spp.) Cultivo y Manejo Poscosecha*. San José, Costa Rica: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Universidad de Costa Rica y Consejo Nacional de Producción.
- Céspedes, C., & Millas, P. (2015). Relevancia de la materia orgánica del suelo. En S. Ruiz (Ed.), *Rastrojos de Cultivos y Residuos Forestales* (pp. 31-46) [Boletín INIA N.º 308]. Chillán, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Córdoba, O., & Londoño, J. (1996). *Evaluación de seis materiales de mora Rubus spp, en condiciones de clima frío moderado* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). (2017). *Diseño de paquetes tecnológicos en el cultivo de mora* [Informe final de meta]. Bogotá, Colombia: Corpoica.
- Crandall, P. C. (1995). *Bramble production: the management and marketing of raspberries and blackberries*. Florida, EE. UU: CRC Press.
- Cummings, G. A. (1978). Plant and soil effects of fertilizer and lime applied to high-bush blueberries. *Journal of the Amererican Society for Horticultural Science*, 103, 302-305.
- Dickerson, G. W. (2000). *Blackberry production in New Mexico* [Guide H-325]. Nuevo México, EE. UU.: College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences.
- Domínguez, A. (1989). *Tratado de fertilización* (2.^a ed). Madrid, España: Ediciones Mundi Prensa.
- Escobar-Torres, C. H. (2015). *Cadena productiva nacional de la mora*. Recuperado de [https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/002 %20- %20 Cifras %20Sectoriales/Cifras %20Sectoriales %20 %E2 %80 %93 %20 2015 %20Marzo.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Mora/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/Cifras%20Sectoriales%20%E2%80%93%202015%20Marzo.pdf).
- Esptein, E., & Bloom, A. (2004). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. (2.^a ed.). Sunderland, Reino Unido: Sinauer Associates.
- Erazo, B. (1983). El cultivo de la mora en Colombia. En Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), *Memorias del primer curso nacional de frutales de clima frío* (31-42). Palmira, Colombia: Autor.
- Estrada, G., & Guerrero, R. (1985). Estado del magnesio y su disponibilidad para las plantas en suelos andinos de Cundinamarca, Colombia. *Ciencia del suelo*, 3, (1-2). Recuperado de: https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_3n1y2/Estrada.pdf.
- Fabara, J. (2001). *El cultivo de la Mora de Castilla. Manual de capacitación a productores de mora*. Ambato, Ecuador.
- Fageria, N. K. (1983). Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. *Plant Soil*, 70(3), 309-316.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (1999). Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol. *Journal of Plant Nutrition*, 22(9), 1495-1507.
- Franco, A., & Döbereiner, J. (1994). A biología do solo e sustentabilidade dos solos tropicais. *Summa Phytopathologica*, 20, 68-74.
- Franco, G., Gallego, J., Tamayo, A., Heredia, L., & Medina, G. (2000). Fertilización de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) en zonas frías del departamento de Caldas. En *Memorias del III seminario frutales de clima frío moderado* (pp. 81-87). Manizales, Colombia: Centro de Desarrollo Tecnológico de Frutales.

- Franco, G., & Giraldo, M. J. (2002). *El cultivo de la mora*. Manizales, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Freire, C. (2007). Nutrição e adubação. En L. Antunes, & M. Raseira (Eds.), *Cultivo da amoreira-preta* [Sistemas de Produção, N. 12]. Pelotas, Brasil: Embrapa.
- Garrido-Valero, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos* [Hojas divulgadoras N.º 5/93 HD]. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Recuperado de http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf.
- González, H. (2003). *Disponibilidad del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana y su relación con la fertilización* (tesis de pregrado). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- Grijalba, C. M., Calderón, L. A., & Pérez, M. M. (2010). Rendimiento y calidad de la fruta en Mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.), con y sin espinas, cultivada en campo abierto en Cajicá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 6(1), 24-41.
- Hart, J., Strik, B. C., & Rempel, H. (2006). *Caneberries* [Nutrient management guide]. Oregon, EE. UU.: Oregon State University. Extension Service.
- Hincapié-Echeverri, O. D., Saldarriaga-Cardona, A., & Díaz-Diez, C. (2017). Alternativas biológicas, botánicas y químicas para el control de enfermedades en el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70(2), 8169-8176. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v70n2/0304-2847-rfnam-70-02-08169.pdf>.
- Hossain, D., Hanafi, M., Talib, J., & Hamdan, J. (2010). Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth and photosynthesis under nutrient solution. *Journal of Agricultural Science*, 2(2), 49-56.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (1992). *Fertilización en diversos cultivos*. Quinta aproximación. Bogotá, Colombia: Autor.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2017). *Resolución ICA 30021 de abril de 2017*. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/getattachment/9d8fe0fa-66d2-4feb-9513-cbba30dc4844/2017R30021.aspx>.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (1971). Norma Técnica Colombiana (NTC) 163. *Abonos o fertilizantes. Calizas para enmiendas*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2011). Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167. *Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC5167.pdf>.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (Icontec). (2012). Norma Técnica Colombiana (NTC) 1927. *Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas*. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC1927.pdf>.
- Instituto de la Potasa y el Fosfato (Infopos). (1997). *Manual internacional de la fertilidad de los suelos*. Quito, Ecuador: Infopos.
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima). (2005). *Norma Técnica Colombiana NTC-ISO/IEC 17025:2005*. Recuperado de https://www.invima.gov.co/images/pdf/red-nal-laboratorios/resoluciones/NTC-ISO-IEC_17025-2005.pdf.
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura (Intagri). (s.f.). *Sinergismos y antagonismos entre nutrientes*. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/sinergismos-y-antagonismos-entre-nutrientes>.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). (2013). *4R de la nutrición de plantas. Un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas*. Buenos Aires, Argentina: Autor.
- Ishizuka, Y., & Tanaka, A. (1960). Studies on the Metabolism of Nutritional Elements in Rice Plants. *Journal of the Science Soil and Manure*, 31, 491-494.
- Kawasaki, T. (1995). Metabolism and Physiology of Calcium and Magnesium. En T. Matsuo, K. Kumazawa, R. Ishii, K. Ishihara, & H. Hirata (Eds). *Science of the Rice Plant* (Vol. 2). Tokyo, Japón: Food and Agricultural Policy Research Center.
- Kovacik, J., Klejdus, B., Backor, M., & Repcak, M. (2007). Phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic compounds accumulation in nitrogen-deficient *Matricaria chamomilla* leaf rosettes. *Plant Science*, 172(2), 393-399.
- Kuepper, G. L., Born, H., & Bachmann, J. (2003). *Organic culture of bramble fruits. Horticultural production guide*. California, EE. UU.: Appropriate Technology Transfer Rural Areas (ATTRA).
- Kuyper, W., Cardoso, I., Onguene, N. A., & Van Noordwijk, M. (2004). Managing mycorrhiza in tropical multispecies agroecosystems. En M. Van Noordwijk, C. Cadisch, & Ong, C. K. (Eds.), *Below-ground interactions in tropical agroecosystems: concepts and models with multiple plant components*. Wallingford, Reino Unido: cabi Publishing (ICRAF).
- Lalatta, F. (1998). *Fertilización de árboles frutales*. Barcelona, España: Ediciones CEAC.
- Lora, S. R. (1992). *El azufre en la agricultura colombiana*. Convenio ICA-Monómeros. [Informe final, Fase I]. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Lora, S. R., & Gómez, C. (1982). Caracterización y disponibilidad de azufre en suelos del sur del Huila. *Suelos ecuatoriales*, 12(1), 37-51.

- Luna, L. A., & Bolaños, M. M. (2007). *Producción de abonos orgánicos de buena calidad*. Palmira, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Malavolta, E., & Paulino, V. T. (1987). Sulphur balance in central in south America. En The Sulphur Institute. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266558188_Sulphur_balance_in_Central_and_South_America.
- Martínez, G. F. (1995). *Elementos de la fisiología vegetal*. Madrid, España: Mundi Prensa.
- Marschner, P. (2007). Plant-microbe interactions in the rhizosphere and nutrient cycling. En P. Marschner, & Rengel, Z. (Eds.), *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. Berlín, Alemania: Springer-Verlag.
- Mattson, N. S., & Van Iersel, M. W. (2011). Application of the '4R' nutrient stewardship concept to horticultural crops: Applying nutrients at the right time. *HortTechnology*, 21(6), 667-673.
- Melgar, R. (2007). *Las mejores prácticas de fertilización. El producto apropiado, en el momento justo, colocado en el lugar correcto y a la dosis exacta*. Recuperado de <http://www.fertilizando.com/articulos/Las%20Mejores%20Practicas%20de%20Fertilizacion.asp>.
- Molina, E. (1998). *Encalado para la corrección de la acidez del suelo*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS).
- Montenegro-González, H., Malagón-Castro, D., & Guerrero, L. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).
- Morales, C. S., & Villegas, B. (2012). Mora (*Rubus glaucus* B.). En G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (pp. 728-754). Bogotá Colombia: Produmedios.
- Moreno-Sarmiento, N., Moreno-Rodríguez, L., & D. Uribe-Vélez. (2007). Biofertilizantes para la agricultura en Colombia. En M. L. Izaguirre-Mayoral, C. Labandera, & J. Sanjuán (Eds.), *Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión técnica, científica y empresarial* (pp. 38-45). Montevideo, Uruguay: Editorial Universitaria.
- Munévar-Martínez, F., Franco-Bautista, P. N., & Arias-Arias, N. A. (2016). *Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite* (3ª ed.) [Boletín Técnico N.º 37]. Bogotá, Colombia: Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma).
- Navarro, L., Rodríguez, T., & Rodríguez, I. (2002). Influencia del calcio, nitrógeno y del magnesio, sobre la producción de *Cratylia argentea* en las sabanas bien drenadas de los llanos orientales de Venezuela. *Revista Científica*, 12(2), 534-538. Recuperado de http://www.saber.ula.ve/revistacientifica/n12/pdfs/articulo_39.pdf.

- Nelson, E., & Martin, L. W. (1986). The relationship of soil-applied N and K to yield and quality of 'Thornless Evergreen' blackberry. *HortScience*, 21, 1153-1154.
- Osorio, N. W. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1-4. Recuperado de <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>.
- Osorio, N., & Ruiz, O. (2001). Guía para el muestreo. *Laboratorio de suelos. Instrucciones de toma, preservación y transporte de muestras de agua*. Colombia, Medellín: Universidad Nacional de Colombia e Instituto Nacional de Salud. Recuperado de https://drive.google.com/file/d/0B_AiJQrX6ySzNoNTA4aGpUN2V-FaWNncy1CcVluQQ/view.
- Osorno-Henao, H. (2012). *Mitos y realidades de las cales y enmiendas en Colombia* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Parry, M. A. J., & Flexas, J., & Medrano, H. (2005). Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147(3), 211-226.
- Patiño-Torres, C. O., & Sanclemente-Reyes, O. E. (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado*, 10(2), 288-297.
- Pereira, I., Nava, G., Picolotto, L., Vignolo, G. K., Gonçalves, M. A., & Antunes, L. (2015). Exigência nutricional e adubação da amoreira-preta. *Revista de Ciencias Agrarias*, 58(1), 96-104. Recuperado de <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.1755>.
- Pereira, I., Picolotto, L., Messias, R. S., Potes, M. L., & Antunes, L. (2013a). Adubação nitrogenada e características agronômicas em amoreira preta. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 48(4), 373-380.
- Pereira, I., Silveira, C. A. P., Picolotto, L., Schneider, F. C., Gonçalves, M. A., Vignolo, G. K., & Antunes, L. (2013b). Constituição química e exportação de nutrientes da amoreira-preta. *Revista Congrega URCAMP*, 9, 1-10.
- Pérez-Sarabia, V. F. (2011). *Plan de fertirrigación en el cultivo de mora de Castilla con espinas (Rubus glaucus B.)*, Cantón Ambato, provincia de Tungurahua (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Cevallos, Ecuador. Recuperado de <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/881>.
- Raij, V. B. (2008). *Gesso na agricultura*. Sao Paulo, Brasil: Instituto agrônomo de Campinas.
- Rao, I. M., Ayarsa, M. A., & García, R. (1995). Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C4 grasses and C3 legumes. *Journal of Plant Nutrition*, 18(10), 2135-2155.

- Red de información y comunicación del sector agropecuario (Agronet). (2016). *Mora. Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/Documents/MORA2016.pdf>
- Rempel, H., Strik, B., & Righetti, T. (2004). Uptake, partitioning, and storage of fertilizer nitrogen in red raspberry as affected by rate and timing of application. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(3), 439-448. Recuperado de <https://journals.ashs.org/jashs/view/journals/jashs/129/3/article-p439.xml>.
- Rincon, A. R., & Salas, J. A. (1987). Influence of the levels of N, P, and K on the yield of blackberry. *Acta Horticulturae*, 199(42), 183-186.
- Rincón-Bonilla, C., Moreno-Medina, B., & Deaquiz-Oyola, Y. (2015). Parámetros poscosecha en dos materiales de mora (*Rubus glaucus* Benth. y *Rubus alpinus* Macfad). *Cultura Científica*, 13, 16-25.
- Rodríguez, F. (2004). *Fertilizantes, nutrición vegetal*. México: A. G. T. Editor.
- Rodríguez-Ortiz, J. C. (1998). Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) var. Floradade (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/6389/1/1080098287.PDF>.
- Rojas-Sierra, J., & Moreno-Sarmiento, N. (2008). Producción y formulación de prototipos de un biofertilizante a partir de bacterias nativas asociadas al cultivo de arroz (*Oryza sativa*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10(2), 50-62.
- Roveda, G., Cabra, L., & Ramírez, M. (Eds.). (2008). *Uso de microorganismos con potencial como biofertilizantes en el cultivo de mora*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Roveda, G., Cabra, L., Ramírez, M., & Peñaranda, A. (2007). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la aclimatación y endurecimiento de microplántulas de mora (*Rubus glaucus*). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1), 28-36.
- Salgado, A. N. (1999). *Informe final práctica institucional Cenicafé. Chinchiná, Colombia*: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Salinity Laboratory Staff. (1954). USDA Handbook no. 60. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Recuperado de https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete.pdf.
- Santos, B. M. (2011). Selecting the right nutrient rate: Basis for managing fertilization programs. *HortTechnnology*, 21(6), 683-685.
- Siembra. (2013). *Listado de demandas*. Recuperado de <http://www.siembra.gov.co/Demandas/Demanda/Reporte>.

- Siembra. (2019). *Gráficas de contexto agropecuario*. Recuperado de <http://www.siembra.gov.co/Regional/ContextoAgro/Reporte>.
- Silva-Montejo, 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.
- Sociedade Brasileira Da Ciência Do Solo (SBCS). (2004). *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande Sul e de Santa Catarina*. Recuperado de http://www.sbc-s-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf.
- Soria, N., & Viteri, P. (1999). *Guía para el cultivo de babaco en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.
- Spiers, J. M., & Braswell, J. H. (2002). Influence of N, P, K, Ca, and Mg rates on leaf macronutrient concentration of 'Navaho' blackberry. *Acta Horticulture*, 585, 659-663.
- Strik, B. C., & Bryla, D. R. (2015). Uptake and partitioning of nutrients in blackberry and raspberry and evaluating plant nutrient status for accurate assessment of fertilizer requirements. *HortTechnology*, 25(4), 452-459. Recuperado de <https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/57518/Strik-BernadineHorticultureUptakePartitioningNutrients.pdf?sequence=1>.
- Sumner, M. E., & Farina, M. P. W. (1986). Phosphorus interactions with other nutrients and lime in field cropping systems. En B. A. Stewart (Ed.), *Advances in Soil Science* (Vol. 5) (pp. 201-236). Nueva York, EE. UU.: Springer.
- Sutton, J., & Peng, G. (1993). Biocontrol of *Botrytis cinerea* in strawberry leaves. *Phytopathol*, 83, 615-621.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiología vegetal* (5.ª Ed). Porto Alegre, Brasil: Artmed.
- Tamayo, A., & Hincapié, M. (2000). Fertilización de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.), en clima frío moderado del departamento de Antioquia. En *Memorias del III seminario de frutales de clima frío moderado*. Manizales, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Terman, G. L., Noggle, J. C., & Hunt, C. M. (1977). Growth rate-nutrient concentration relationships during early growth of corn as affected by applied N, P and K. *Soil Science Society of America Journal*, 41(2), 363-368.
- Tibaquirá, H. (1999). *Determinación de los niveles de azufre disponible en los suelos de las subestaciones experimentales Maracay y Libano*. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Townsend, L. R. (1973). Effects of N, P, K, and M: on the growth and productivity of the highbush blueberry. *Canadian Journal Plant Science*, 53, 161-168.
- Valencia, A. G. (1992). *El Azufre en la nutrición del cafeto*. Manizales, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

- Valencia, H., Sánchez, J., & Valero, N. (2005). Producción de ácido indolacético por microorganismos solubilizadores de fosfato presentes en la rizósfera de *Espeletia grandiflora* y *Calamagrostis effusa* del Páramo el Granizo. En M. Bonilla (Ed.), *Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la cordillera oriental de Colombia* (pp. 177-193). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Unibiblos.
- Valencia, H., Sánchez, J., Vera, D., Valero, N., & Cepeda, M. (2007). Microorganismos solubilizadores de fosfatos y bacterias fijadoras de nitrógeno en páramos y región cálida tropical (Colombia). En J. Sánchez, (Ed.), *Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas* (pp. 169-183). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Valero, N. (2007). Determinación del valor fertilizante de microorganismos solubilizadores de fosfato en cultivos de arroz. En J. Sánchez (Ed.), *Potencial biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y agroecosistemas* (pp. 169-183). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Valverde, A., Burgos, A., Fiscella, T., Rivas, R., Velázquez, E., Rodríguez-Barrueco, C., Cervantes, E., Chamber, M., & Igual, J. (2007). Differential effects of coinoculations with *Pseudomonas jessenii* PS06 (a phosphate-solubilizing bacterium) and *Mesorhizobium ciceri* C-2/2 strains on the growth and seed yield of chickpea under greenhouse and field conditions. En E. Velazquez, & C. Rodríguez-Barrueco (Eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization* (pp. 43-50). Nueva York, EE. UU.: Springer.
- Vayas, J. (2000). *Efecto de la Fertilización fraccionada con N, P, K, en mora de Castilla (Rubus glaucus B.)* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- Weinbaum, S. A., Brown, P. H., Rosecrane, R. C., Picchioni, G. A., Niederholzer, F. J. A., Youseffi, F., & Muraoka, T. T. (2001). Necessity for whole tree excavations in determining patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. *Acta Horticulturae*, 564,41-49.
- Zaidi, A., Khan, M., & Ahmad, E. (2014). Microphos: principles, production and application strategies. En M. S. Khan, A., Zaidi, & J. Musarret (Eds.), *Phosphate Solubilizing Microorganisms* (pp. 1-30). Suiza: Springer International Publishing Switzerland.
- Zhao, D., Reddy, K., Kakani, V. G., Read, J. J., & Carter, G. A. (2003). Corn (*Zea mays* L.) growth, leaf pigment concentration, photosynthesis and leaf hyperspectral reflectance properties as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, 257(1), 205-218.

- Zhao, D., Reddy, K., Kakani, V. G., Read J. J., & Koti, S. (2005b). Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. *Agronomy Journal*, 97, 89-98.
- Zhao, D., Reddy, K., Kakani, V. G., & Reddy, V. R. (2005a). Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*, 22, 391-403.
- Zuluaga-Ossa, J., & Ossa-Alzate, L. (2012). *Estudio de factibilidad financiera de un cultivo de aguacate en el municipio de granada para la empresa Cultivar 2000 S.A.S.* (tesis de especialidad). Universidad de Medellín, Medellín, Colombia.

Impresión y encuadernación:
DGP Editores SAS
Terminó de imprimirse
en agosto de 2019, Bogotá, D. C., Colombia

El cultivo de la mora de Castilla en Colombia es considerado como un sistema productivo de agricultura familiar, el cual proporciona flujo de caja semanal para el productor. Sin embargo, esta particularidad ha hecho que este sistema no sea manejado con criterios agronómicos eficaces, como la aplicación de planes eficientes de fertilización integrada, basados en el grado de fertilidad del suelo y los requerimientos nutricionales de la mora; los cuales, junto con prácticas culturales adecuadas, como podas sanitarias frecuentes y distancias de siembra óptimas, permiten alcanzar el máximo potencial productivo de la especie.

Este manual es el resultado principal de la investigación que durante más de seis años realizó la Corporación colombiana de investigación agropecuaria (AGROSAVIA) con relación a la estimación de los requerimientos nutricionales del cultivo de mora de Castilla con espinas, durante todas sus etapas fenológicas (vegetativa, reproductiva y productiva); y la elaboración de las curvas de absorción para determinar los momentos claves de fertilización dentro de cada etapa, optimizando la práctica de fertilización, mediante el suministro de los macronutrientes (N, P, K y Ca) en las dosis adecuadas y épocas precisas de máxima absorción nutricional.



BAC

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA

Correo: bac@agrosavia.co

Teléfono: (+571) 4227300 Ext. 1257 o 1274

Skype: biblioteca.agropecuaria

www.agrosavia.co

**DISTRIBUCIÓN GRATUITA
PROHIBIDA SU VENTA**



**El campo
es de todos**

Minagricultura