

Guayaba

(*Psidium guajava* L.)

Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca



Gustavo Buitrago Hurtado
Silvia Lizette Bustamante Rodríguez
Gloria Amparo Corredor Huertas
Juan David Saavedra Correa
Yeimy Alexandra Pinzón Gutiérrez
Diana Rocío Pinzón Pinzón
Darío Antonio Pérez González
Diana Diaz Rodríguez

Convenio:



Gobernación de
Cundinamarca



Guayaba

(*Psidium guajava* L.)

Guayaba

(*Psidium guajava* L.)

Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo
en el departamento de Cundinamarca

Gustavo Buitrago Hurtado

Silvia Lizette Bustamante Rodríguez

Gloria Amparo Corredor Huertas

Juan David Saavedra Correa

Yeimy Alexandra Pinzón Gutiérrez

Diana Rocío Pinzón Pinzón

Darío Antonio Pérez González

Diana Diaz Rodríguez

Instituto de Biotecnología

Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Convenio:



Gobernación de
Cundinamarca



Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Guayaba (*Psidium guajava* L.) : manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca / Gustavo Buitrago Hurtado [y otros siete]. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia : Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, 2024
1 recurso en línea (62 páginas) : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, fotografías.

Incluye referencias bibliográficas
ISBN 978-958-505-480-6 (digital)

1. Guayabas -- Cultivo -- Cundinamarca (Colombia) -- Manuales 2. Guayabas -- Abonos y fertilizantes -- Cundinamarca -- Manuales 3. Guayabas -- Producción -- Cundinamarca (Colombia) -- Manuales 5. Técnicas de cultivo -- Manuales 6. Fecundación de las plantas -- Manuales I. Buitrago Hurtado, Gustavo, 1954-, autor

CDD-23 634.421 / 2024

CORREDOR TECNOLÓGICO AGROINDUSTRIAL CTA-2
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ
Calle 44 N.º 45-67 Unidad Camilo Torres
Edificio 826 Bloque A-1 Oficina 101
Teléfono (57-1) 316 5000 Extensión 10248
Bogotá, D. C. Colombia
Código postal: 111321

PREPARACIÓN EDITORIAL
Mesa Editorial
Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2

COORDINACIÓN EDITORIAL:
Luis Gabriel Bautista Montealegre I. A., M. Sc
Rodrigo Orlando Pinzón Caballero I. A.

DISEÑO GRÁFICO:
Maria Victoria Guerra Rivero
Andrés Conrado Montoya Acosta

IMPRESIÓN:
DGP Editores S.A.S
Bogotá D. C.
2024



El contenido del presente documento se acoge a la licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0 DEED). Su copia o redistribución debe incluir el crédito correspondiente a los autores y autoras, así como a las entidades editoriales y no debe tener fines comerciales. Se puede consultar la licencia en: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

CITACIÓN SUGERIDA: Buitrago-Hurtado, G., Bustamante-Rodríguez, S., Corredor-Huertas, G., Saavedra-Correa, J., Pinzón-Gutiérrez, Y., Pinzón-Pinzón, D., Pérez-González, D. y Díaz-Rodríguez, D. (2024). Guayaba (*Psidium guajava* L.): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Bogotá, D.C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.

Primera edición, 2024

ISBN impreso: 978-958-505-479-0
ISBN digital: 978-958-505-480-6

CLÁUSULA DE RESPONSABILIDAD: El Corredor Tecnológico Agroindustrial - CTA-2 no es responsable de las opiniones e información contenidas en el presente documento. Los autores/as se adjudican exclusiva y plenamente la responsabilidad sobre su contenido, ya sea propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la autorización para su publicación; adicionalmente, los autores/as declaran que no existe conflicto de interés con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, solo los autores/as 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.

*Dedicado a todas las personas
que trabajan la tierra*

Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2

Entidad Ejecutora:
Gobernación de Cundinamarca
Jorge Emilio Rey Ángel
Gobernador

Comité Directivo

Gobernación de Cundinamarca
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación
Hjalmar Arturo Melo Román

Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.
Secretaría Distrital de Desarrollo Económico
Juanita Rodríguez Garay
Directora de Economía Rural y Abastecimiento Alimentario

Universidad Nacional de Colombia
Vicerrectoría de Investigación
Olga Janneth Gómez Ramírez
Directora de Investigación y Extensión Sede Bogotá

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá
Carlos Alberto Herrera Heredia
Coordinación de Innovación Regional

Comité Técnico Científico

Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2

Gobernación de Cundinamarca
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación
Olga Lucía Guzmán Morales
Asesora de despacho

Alcaldía Mayor de Bogotá, D. C.
Secretaría Distrital de Desarrollo Económico
Andrea Campuzano Becerra

Universidad Nacional de Colombia
Dirección de Investigación y Extensión – Sede Bogotá
Bethsy Támara Cárdenas Riaño
Jefe de la División de Investigación

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA
Centro de Investigación Tibaitatá
Carlos Alberto Herrera Heredia
Coordinación de Innovación Regional
C. I. Tibaitatá

Directora de proyecto

Ingritts Marcela García Niño

Supervisión

Gobernación de Cundinamarca
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación
Oscar Alberto Villalba Pulido
Gerente de proyectos

El Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA) es una estrategia de cooperación entre Estado, sector productivo y academia, en la cual participan actores directivos del sector agropecuario y agroindustrial de Cundinamarca y Bogotá, D. C., con el fin de aunar esfuerzos en actividades de desarrollo y fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus capacidades están orientadas a la formulación y ejecución de proyectos de carácter investigativo, que permitan la transferencia tecnológica al sector agropecuario y agroindustrial.

El presente documento es resultado del Subproyecto “Desarrollo y transferencia de componentes biotecnológicos en la producción de material vegetal de siembra implementando un modelo de innovación social con productores de la ruralidad de Bogotá y del departamento de Cundinamarca”, desarrollado en el marco del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, Proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente”, suscrito por la Gobernación de Cundinamarca, a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación; la Alcaldía de Bogotá, a través de la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico; la Universidad Nacional de Colombia, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoca). El Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 es financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías.

Se aclara además que los resultados de investigación obtenidos deben ser comprendidos de acuerdo con el periodo en el que se ejecutó el proyecto y no con el de su fecha de publicación.

Contenido

Introducción.....	13
Diagnóstico del sistema productivo	17
Zonas de influencia del Subproyecto Semillas	17
La Innovación Social Participativa	17
Caracterización de los beneficiarios	19
Formalización de las Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias.....	19
Generalidades del cultivo	23
Producción y mercados	25
Manejo agronómico.....	27
Materiales de siembra y semilla	27
Técnicas de propagación	28
Resultados alcanzados en las etapas del proceso de producción de semillas de calidad	29

Manejo integrado de fertilización no convencional.....	39
Producción y escalamiento de bioinsumos.....	39
Módulos locales para producción de bioles a partir de microorganismos eficientes nativos.....	41
Protocolo para la preparación de bioles	44
Módulos locales para producción de micorrizas arbusculares	47
Evaluación de bioinsumos en plántulas de guayaba	49
Diseño preliminar de un paquete tecnológico de producción de bioinsumos para la producción agrícola de guayaba en Cundinamarca.....	50
Análisis microbiológico de bioles producidos localmente en fincas del municipio de Anolaima.....	53
Resultados y recomendaciones	56
Referencias bibliográficas	59

Introducción

El cultivo de guayaba es originario del trópico americano. Actualmente existen aproximadamente 150 variedades nativas de América tropical y subtropical, divididas en las de pulpa blanca y las de pulpa roja. En Colombia hay presentes tres variedades de guayaba: común, pera y manzana (Agronet, 2014).

La producción mundial de guayaba es de alrededor de 2 075 000 t. India, Brasil y Pakistán aportan el 55 % de esta producción; México y Egipto producen el 26 % y el resto lo aportan otros países como Colombia y Malasia. En Colombia, para el año 2017 la producción de guayaba común se calculó en un área de 9882 ha sembradas y alrededor de 8525 ha cosechadas, con una producción promedio de 92 425 t y un rendimiento de 10,84 t/ha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR], 2018).

El desarrollo de este documento para el manejo de la fertilización en cultivos de guayaba se hizo en el marco del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 y del subproyecto “Desarrollo y Transferencia de Componentes Biotecnológicos en la Producción de Material Vegetal de Siembra Implementando un Modelo de Innovación Social con Productores de la Ruralidad de Bogotá y del Departamento de Cundinamarca” (que en adelante Subproyecto Semillas).

La ejecución del Subproyecto Semillas se realizó bajo la implementación de un Modelo de Creación de Unidades Rurales de Biotecnología para Guayaba, realizado en Anolaima, municipio de la provincia del Tequendama (Cundinamarca), y que contó con la participación de productores vinculados a la Asociación de Productores de Anolaima (Asoproan). El sistema productivo de guayaba común en este municipio presenta diversas características que afectan negativamente la sostenibilidad y la competitividad, a pesar de que Anolaima aporta cerca del 36 % de la producción nacional de guayaba.

En los aspectos tecnológicos del cultivo en el municipio se consensuó con los productores la conveniencia de introducir nuevas prácticas en la siembra empleando plántulas producidas *in vitro*, así como la introducción de cambios técnicos que contribuyeran a mejores respuestas del material plantado. Desde otra perspectiva, los materiales que se encuentran en esta región corresponden a materiales con edades de siembra de entre 15 y 20 años, sin renovación. También hay limitaciones para el riego, ya que depende de la estacionalidad en los periodos de lluvia. Los problemas fitosanitarios son de índole diversa e influyen directamente sobre la producción en sí y la calidad de la fruta.

En el aspecto socioeconómico los productores dedicados a este cultivo son personas mayores. En general, la mayoría de la población que se dedica al cultivo de frutales en el municipio pertenece a núcleos familiares integrados por tres o cuatro personas, ubicados dentro de los estratos socioeconómicos 1 y 2, con baja vocación a incorporar desarrollos tecnológicos e innovar en las prácticas culturales para el cultivo. La población es de edades que oscilan entre los 40 y los 70 años. La condición económica en esta población está limitada a actividades de subsistencia que dependen de las diferentes épocas de cosecha de fruta, condicionada por un deficiente proceso productivo que se desarrolla bajo un modelo de explotación en policultivo tradicional y empírico.

Para abordar las limitantes expuestas anteriormente, en el marco del proyecto del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 y del Modelo de Creación de Unidades

Rurales de Biotecnología para Guayaba, se plasma el proceso denominado Innovación Social Participativa para los productores de Anolaima, que contempla la instalación de Parcelas de Investigación Participativas (PIPA), que emplean como material de siembra plantas producidas *in vitro* y adaptadas en invernadero.

En las PIPA que se establecieron en la región se evaluaron de manera participativa la adopción, aplicación y eficacia del uso de los bioinsumos producidos localmente. Las metodologías de trabajo con la comunidad incorporadas en las Unidades Rurales de Biotecnología para Guayaba han sido gestionadas, entre otros propósitos, para que el modelo participativo de transferencia de tecnología estimule y promueva en los productores prácticas de manejo de cultivos más tecnificados. Se busca estimular a los productores para que generen e incorporen aspectos innovadores de las técnicas agroecológicas en sus cultivos, incidiendo favorablemente en la sostenibilidad y la competitividad en la cadena frutícola departamental y nacional.

Diagnóstico del sistema productivo

Zonas de influencia del Subproyecto Semillas

El Subproyecto Semillas concentró su trabajo en el cultivo de guayaba en la provincia del Tequendama, al cual pertenece el municipio de Anolaima, tradicionalmente conocido como zona productora de guayaba en el departamento de Cundinamarca.

La innovación social participativa

La experiencia de integrar la innovación social con la biotecnología ha permitido, que por ejemplo, el Grupo de Investigación Sobre el Cultivo de Ñame de la Universidad Nacional de Colombia lograra la generación de un modelo de investigación exitoso, que ha sumado estrategias efectivas para el desarrollo rural en el país (Buitrago y Bustamante, 2017).

Uno de los propósitos principales de esta estrategia de Innovación Social Participativa es la apropiación social del conocimiento y su difusión hacia las comunidades participantes en estos proyectos, para que asuman su propio liderazgo. De esta manera se estimula su empoderamiento, lo que les permite gestar sus propios desarrollos e impactar su entorno inmediato. También amplía en la región la cobertura de los resultados y desarrollos alcanzados por las comunidades como aportes al mejoramiento de su nivel de vida.

Las Figura 1 y 2 ilustran actividades del modelo de innovación social desarrolladas con productores de guayaba de Anolaima.



Figura 1 Actividades del modelo de innovación social llevadas a cabo con productores de guayaba de Anolaima (Cundinamarca). a) Concertación de las actividades a realizar en la jornada. b) y c) Monitoreo del cultivo establecido. d) Revisión del invernadero para aclimatación de plántulas. e y f) Recepción de material vegetal de guayaba roja común.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).



Figura 2 Talleres participativos con productores de guayaba en la PIPA de Anolaima (Cundinamarca).

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Caracterización de los beneficiarios

En el marco del Subproyecto Semillas, se adelantó un diagnóstico rural participativo sobre el cultivo de guayaba roja en el municipio de Anolaima, con el fin de actualizar y caracterizar los sistemas de producción del cultivo y los productores vinculados al sistema, que en su mayoría pertenecen a Asoproan.

Formalización de las Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias

Las Parcelas de Investigación Participativas Agropecuarias (PIPA) contaron con un Invernadero Participativo Eficiente (IPE) localizado en una de las fincas de los productores, previa concertación y acuerdo de la forma como serían distribuidos los materiales vegetales provenientes de la propagación *in vitro* generados allí. Estos materiales se entregaron a los productores para posteriormente ser aclimatados en sus parcelas y luego transportados al sitio de siembra definitiva, con lo que se armonizó esta etapa con el sistema productivo de guayaba de la región.

Para la consolidación de un núcleo productivo de investigación participativa para los sistemas productivos de guayaba en el municipio de Anolaima fue necesario culminar un proceso que inició con la introducción de la especie, guayaba roja común, a condiciones de cultivo *in vitro* en los laboratorios del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Bajo estas condiciones se llevó a cabo un proceso de multiplicación masiva de las plántulas, que posteriormente pasaron a procesos de enraizamiento y aclimatación en un IPE, bajo las condiciones edafoclimáticas propias de la región; finalmente, se establecieron en los terrenos que los agricultores destinaron al nuevo cultivo de guayaba, adaptando las plantas obtenidas con procesos biotecnológicos a las PIPA incorporadas al proyecto.

Al momento de la escritura de este documento los materiales presentaban edades de establecimiento en campo de entre 12 y 18 meses. Sobre estas PIPA se evaluaron los diferentes tipos de bioinsumo que fueron producidos localmente, lo que

aporta un elemento de carácter biotecnológico más en el municipio de Anolaima, complementando así la estrategia para ser utilizada en las labores agrícolas de los sistemas productivos de guayaba, con potencial de ser llevada a otros productores y cultivos de esta provincia.

La estrategia de los Invernaderos Participativos Eficientes

En la zona de Anolaima se establecieron Invernaderos Participativos Eficientes (IPE) durante la ejecución del proyecto denominado “Implementación de herramientas biotecnológicas en la introducción a condiciones *in vitro* de cuatro productos comerciales contemplados en el Plan Maestro de Abastecimiento y Seguridad Alimentaria para Bogotá Distrito Capital” (Convenio 615 de 2013, Secretaría Distrital de Desarrollo Económico). Estos invernaderos se adaptaron en la región mediante la construcción en una estructura cubierta con película plástica y polisombra. En los IPE se llevó a cabo la fase final del proceso de aclimatación: las 500 plántulas que se entregaron a los productores en la zona fueron mantenidas en un IPE entre 15 y 45 días.

La evaluación de las PIPA en el sistema productivo de guayaba en Anolaima comprendió las siguientes actividades:

Selección participativa: para la selección se realizaron recorridos por las fincas de los productores de Asoproan y se seleccionaron cinco fincas o unidades productivas, donde se establecieron parcelas con guayaba roja común de procedencia *in vitro*. Estas parcelas contaron con un tiempo de establecimiento de 12 a 18 meses y un número de plantas mayor a 100.

Implementación de la PIPA Anolaima-Guayaba Roja: se desarrolló en las fincas propiedad de Mario Valenzuela (finca El Jardín, 5700 m²); Nancy Martínez (finca Buenos Aires, vereda Chiniata, 3900 m²); Mariano Rivera (finca Don Chucho, vereda Reventones, 3800 m²); Lucy García (finca La Evelina, vereda La María, 4100 m²) y Jennifer Home (finca La Granadina, vereda Santo Domingo, 3700 m²). Estas cinco fincas constituyen el núcleo productivo de investigación participativa. Las Figuras 3 y 4 ilustran actividades desarrolladas en las fincas con los productores locales.



Figura 3 Plantación de guayaba con material de siembra *in vitro* en la finca El Jardín, Anolaima (Cundinamarca).
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).



Figura 4 Monitoreo de la adaptación de plantas de guayaba producidas *in vitro* y plantadas en campo. Los factores evaluados fueron las podas de formación y cicatrización. Finca Buenos Aires, Anolaima (Cundinamarca).
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Generalidades del cultivo

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una de las frutas más cultivadas en el trópico. Pertenece a la familia *Myrtaceae*, la cual se conforma de unas 3000 especies entre árboles, arbustos y enredaderas que crecen en regiones templadas, tropicales y subtropicales del hemisferio sur.

El género *Psidium* se destaca por su importancia económica; todos los ecotipos comerciales de guayaba en la actualidad pertenecen a este género y son originarios de América. Es una de las frutas tropicales más conocidas y cultivada en el mundo (Gutiérrez, 2013). El género *Psidium* comprende 223 especies, de las cuales sobresalen cinco de importancia económica: *P. guineense*, *P. cattleianum*, *P. chivense*, *P. friedrichstalianum* y *P. guajava*, esta última, cultivada ampliamente en Colombia donde se reconocen dos variedades, de acuerdo con la forma globosa piriforme y no con el color de la pulpa (Perea et al., 2010).

La producción mundial de guayaba es de alrededor de 2 075 000 t que se producen entre India, Brasil, Pakistán, México, Egipto, Colombia y Malasia, entre otros. En Colombia, para el año 2017 la producción anual de guayaba común fue de 92 425 t y un rendimiento de 10,84 t/ha, a partir de un área de 9882 ha sembradas y alrededor de 8525 ha cosechadas (MADR, 2018).

En Colombia, su producción se realiza principalmente en sistemas silvopastoriles de pequeñas unidades de economía campesina, con áreas menores a 2 hectáreas, en diversos ecosistemas desde el nivel del mar hasta los 1900 msnm. Los departamentos de mayor producción de guayaba son Santander, Boyacá, Tolima, Meta y Valle del Cauca (Agronet, 2014).

Morfológicamente, tiene tallos angulosos, de coloración café claro cuando inicia el proceso de cosecha. Las hojas se forman en pares, opuestas, simples, coriáceas, color verde pálido, de forma alargada elíptica a ovalada; miden de 5 a 15 cm de longitud por 8 cm de ancho; son pubescentes en ambas caras y con nervadura central sobresaliente. Las flores se forman en las ramas más jóvenes, de una a tres por nudo; son blancas, de cinco pétalos y con numerosos estambres. Los frutos son redondeados y miden de 4 a 12 cm de longitud y entre 4 y 7 cm de diámetro. La pulpa es blanda, jugosa y cremosa, con gran cantidad de semillas de constitución leñosa y dura, de coloración rosada a blanca, con un peso que varía entre 200 y 400 g/kg de fruta. Los requerimientos edafoclimáticos del cultivo se muestran en la Tabla 1 (Lozano et al., 2002).

La guayaba es reconocida en el mercado por su agradable aroma, sabor y alto valor nutricional, ya que posee el mayor número de vitaminas de todas las frutas. Es una excelente fuente de ácido ascórbico, que obra como precursor de la vitamina C, vitamina A, tiamina, riboflavina y el ácido nicotínico; así mismo, aporta minerales como calcio (Ca), hierro (Fe) y fósforo (P), además de carbohidratos, razones por las que se le conoce como la reina de las frutas. Industrialmente es empleada en la elaboración de bocadillos, jaleas cernidas, néctares, mermeladas, vinos y cremas. Posee un alto contenido en fibra y vitamina C, que promueve la restauración de los tejidos y la eliminación de radicales libres y desechos del metabolismo, actuando como antioxidante (Lozano et al., 2002).

Entre las generalidades del cultivo encontramos que la guayaba es un árbol de porte mediano, de entre 3 y 5 metros. Su periodo vegetativo es de cinco a siete años y de producción puede alcanzar los veinte años. Crece preferiblemente en suelos francos, aunque se desarrolla bien en suelos desde arenosos hasta arcillosos, con un pH estable de 5 a 6 y una precipitación anual de entre 800 y 2000 mm/año (Perea et al., 2010).

El agua es indispensable para el cultivo de guayaba en los períodos de crecimiento y producción, pues las flores se forman en ramas nuevas y éstas solo crecen si tienen suficiente agua. Se ha establecido que si la floración y el amarre del fruto coinciden con una sequía habrá problemas de producción, pues se forman frutos muy pequeños que pueden caer (Lozano et al., 2002).

Tradicionalmente las plantas silvestres de guayabo se han encontrado en terrenos pobres, razón por la cual los productores piensan en cultivarlos donde otros cultivos no se desarrollan muy bien, pero las variedades mejoradas requieren de condiciones especiales para que puedan manifestar todo su potencial genético. En tal sentido, se ha encontrado que los suelos que le favorecen son de franco a franco arcilloso con buen contenido de materia orgánica; por el contrario, los suelos arenosos le son desfavorables, lo que se manifiesta en un desarrollo lento y débil. El pH está en el rango de 5 a 7; es una planta bastante tolerante a la humedad pero no por periodos prolongados (Lozano et al., 2002).

Tabla 1 Requerimientos edafoclimáticos.

Temperatura mínima	10°C
Temperatura máxima	42°C
Temperatura óptima	18-30°C
Humedad relativa	36-96 %
Precipitación anual	1000-1800 mm
pH	5-7
Altitud	600-1780 msnm

Fuente: Lozano et al. (2002).

Producción y mercados

La *Agenda de Innovación Estatal 2012-2015* (Fundación Produce de Guerrero [FPG], 2012) resalta que los principales países productores de guayaba en el mundo son: Pakistán, Egipto, México, Bangladesh, Estados Unidos, Brasil, Venezuela, Colombia, Malasia, Tailandia, Perú, India, Sudáfrica, Indonesia y República Dominicana. Egipto es el mayor exportador de guayaba fresca, mientras que Brasil, México, República Dominicana e India son los principales exportadores de procesados de guayaba, cuyo principal mercado es Estados Unidos, seguido por la Unión Europea y el Medio Oriente. Por las dimensiones del mercado y las condiciones que prevalecen en las regiones productoras del presente estudio,

el cultivo de guayaba presenta potencial para tales regiones, incluido el municipio de Anolaima.

Las principales zonas productoras se localizan en Polonuevo, Baranoa, Monquirá, Valle de Tenza, Pitalito, Mogotes, Vélez, Barbosa, Puente Nacional, en la Sierra Nevada de Santa Marta y en el Valle del Río Cauca. En el departamento de Cundinamarca la producción se localiza en los municipios de Pacho, Tocaima, La Vega, Villeta y Anolaima. En Colombia aproximadamente el 96 % del cultivo carece de tecnificación; por tanto, el fruto de la guayaba es orgánico, ecológico y libre de pesticidas (Perea et al., 2010).

Manejo agronómico

Materiales de siembra y semilla

El material de siembra de guayaba (*Psidium guajava* L.) para este proyecto corresponde a la variedad roja común. Por su procedencia de procesos de propagación bajo condiciones *in vitro* se puede denominar material de siembra élite.

El desarrollo de las condiciones para el cultivo de tejidos vegetales para materiales de guayaba comprende un proceso de cuatro etapas: la primera, de introducción a condiciones *in vitro*, en donde se evalúan diferentes estrategias de desinfección y de germinación; la segunda etapa, consiste en generar condiciones para la multiplicación de los materiales vegetales propagados en condiciones *in vitro*; en la tercera etapa, se generan condiciones para el enraizamiento de los materiales vegetales propagados, y en la cuarta, se busca establecer las condiciones para la aclimatación de las plantas.

Los materiales producidos bajo este proceso constituyen lo que se denomina semilla, que corresponde a plántulas con características de homogeneidad genética, libres de patógenos y agentes causantes de enfermedades, como las dos cualidades más destacadas de esta semilla de alta calidad.

Estas semillas se entregaron a los productores en Anolaima, para obtenerlas, se aplicaron los protocolos descritos a continuación, que detallan la estandarización de los procesos, los medios y las condiciones de cultivo y el manejo del material vegetal proveniente del cultivo de tejidos vegetales.

Técnicas de propagación

La primera etapa es el pretratamiento de los materiales seleccionados:

1. Las semillas se sometieron inicialmente a desgaste de testa. Para ello, se introdujeron en una caja con las paredes interiores recubiertas con lija. La caja cerrada se ubicó y aseguró en el perturbador celular durante 5 min, metodología que se denomina de escarificación de la semilla.
2. Posteriormente, las semillas de guayaba roja común se dejaron en imbibición en solución de AG3, a una concentración de 400 ppm durante siete días. Este pretratamiento permitió la emergencia de la radícula a los 15 días de la siembra en medio de cultivo.

La segunda etapa en la desinfección aplicó el siguiente protocolo, previamente estandarizado en nuestro grupo de investigación, el cual genera material vegetal con muy bajos o nulos porcentajes de contaminación.

1. Enjuague de semillas de guayaba roja (*P. guajava*) tres veces con agua destilada estéril.
2. Tratamiento en 100 ml de agua destilada estéril con tres gotas de Tween-20 por 15 min. Enjuague de semillas tres veces con agua destilada estéril.
3. Tratamiento en solución de Isodine al 2,5 % por 30 min. Enjuague de semillas tres veces con agua destilada estéril.
4. Tratamiento en solución de hipoclorito de sodio al 1,5 % por 30 min.
5. Finalmente, se retiran las semillas de la solución de hipoclorito y se colocan en caja de Petri estéril dentro de cabina de flujo laminar y en condiciones asépticas.

La tercera etapa es la germinación, para la cual se empleó un medio de cultivo para las semillas de *P. guajava* previamente estandarizado por el grupo de investigación, que aporta altos porcentajes de germinación y obtención de material inocuo para su multiplicación. Se registraron cambios en la segunda semana después de la siembra, hipocótilo entre la tercera y cuarta semana y primordios foliares a partir de la quinta semana, con un porcentaje mayor al 85 % de germinación.

El material vegetal germinado se mantuvo en cuarto de crecimiento con una temperatura promedio de 24 °C, un fotoperiodo establecido de 16 horas de luz y una humedad relativa promedio entre 70 % y 80 %.

Resultados alcanzados en las etapas del proceso de producción de semillas de calidad

Desinfección

El tratamiento de desinfección permitió obtener resultados eficientes, reflejados en porcentajes de asepsia de alrededor de 97,2 %.

En cuanto a la aparición de la radícula se registraron cambios a partir de la segunda semana después de la siembra, se mostró presencia de hipocótilo entre la tercera y la cuarta semana y primordios foliares a partir de la quinta semana. En la Figura 5 se presentan réplicas de frascos con semillas germinadas que evidencian la presencia de la emergencia radicular.

Multiplicación

Para la fase de multiplicación se seleccionaron plantas jóvenes germinadas en condiciones *in vitro*. Se sembraron explantes de entre dos y tres entrenudos, desprovistos de hojas y raíces. Se seleccionó como regulador de crecimiento la citoquinina BAP. Se estableció un diseño experimental completamente al azar de dos

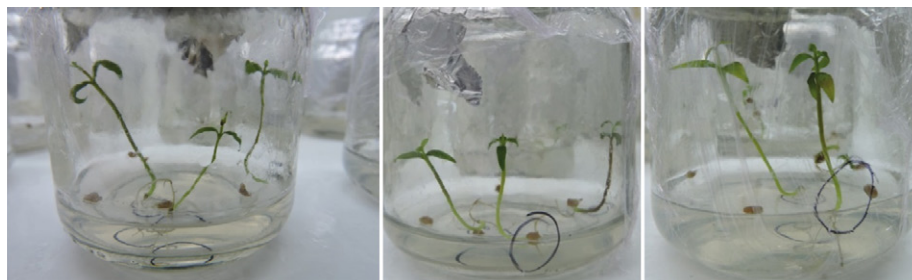


Figura 5 Plántulas de guayaba roja (*Psidium guajava L.*) que crecen en medio de germinación a partir de semillas.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

tratamientos (Medio 1 y 2) más testigo (Tabla 2). Se emplearon cinco réplicas y tres repeticiones, se sembraron cuatro explantes por medio, con un total de 60 explantes sembrados para cada tratamiento.

Tabla 2 Composición de medios evaluados para multiplicación de guayaba.

Componentes	Medio 0	Medio 1	Medio 2
M&S básico	100 %	100 %	100 %
Sacarosa	30 g/l	30 g/l	30 g/l
Gellan Gum Powder	3 g/l	3 g/l	3 g/l
Caseína hidrolizada	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
Vitaminas Gamborg	5 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
Putrescina	5 mg/l	5 mg/l	5 mg/l
Ácido cítrico	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
BAP (citoquinina)	-	1,5 mg/l	2,5 mg/l

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Finalmente, las siembras fueron incubadas en oscuridad durante 30 días y a continuación incubadas bajo las siguientes condiciones, establecidas como las más adecuadas para el cultivo:

- Temperatura: entre 23 y 30 °C.
- Humedad relativa: entre 60 y 70 %.
- Fotoperiodo: 16 horas luz con intensidad de 4000 lux.

- Condiciones fisiológicas: buen desarrollo y vigorosidad de la planta (color, turgencia, longitud, emergencia de hojas), ausencia de contaminación, clorosis o marchitamiento.

Para la selección del medio más eficiente se evaluó como variable el número de yemas por explante. El seguimiento y registro de los datos correspondientes a esta variable se realizó a partir de la quinta semana, cada ocho días durante un mes posterior a la siembra.

Los resultados muestran que la ausencia de fotoperiodo en las fases de multiplicación y enraizamiento al mantener los explantes en oscuridad durante 30 días, permitió el alargamiento de las vitroplantas. Después de cuatro semanas en oscuridad y cuatro semanas de evaluación, la estadística descriptiva mostró un mayor número de formación de yemas por explante para el Medio 1 (Figuras 6 y 7) con un promedio de 2,85 yemas.

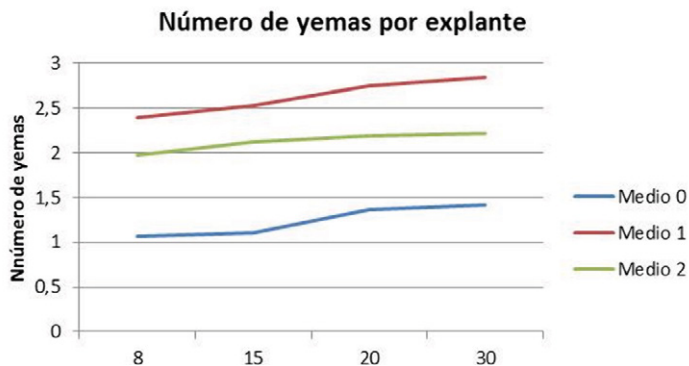


Figura 6 Número de yemas por explante de guayaba en cada medio evaluado.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Las evaluaciones realizadas muestran que las variables estudiadas tienen incidencia significativa entre los medios evaluados para la multiplicación de guayaba, como se aprecia en la Figura 7, con materiales de diferentes edades de siembra. La ausencia de fotoperiodo en la fase de multiplicación por oscurecimiento durante 30 días permitió el alargamiento celular.

El proceso de oscuridad ha sido eficiente en especies vegetales, como indican Chilon y Chilon (2015). Las plantas destinan la mayor cantidad de energía posible al alargamiento de los tallos en un fenómeno conocido como etiolación. Este es un claro ejemplo de cómo la morfología y fisiología de una planta se sintonizan con el ambiente que la rodea mediante adaptaciones explante-ambiente. Posteriormente, cuando el brote alcanza la luz, la planta experimenta profundos cambios, que en conjunto se denominan desetiolación o enverdecimiento; entonces la velocidad de alargamiento de los tallos disminuye, las hojas se expanden, las raíces se alargan y el brote produce clorofila.

El material vegetal fue almacenado en cuarto de crecimiento con una temperatura promedio de 24 °C, un fotoperiodo establecido de 16 horas luz y una humedad relativa promedio de entre 70 y 80 %.

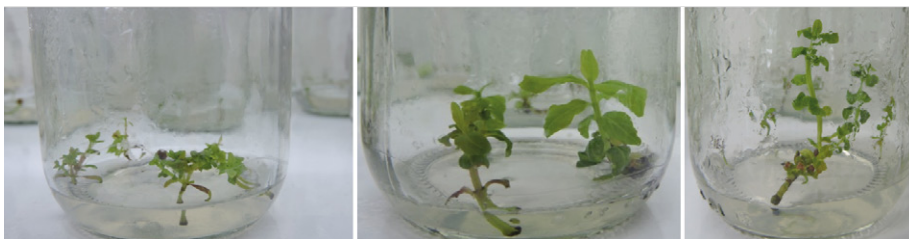


Figura 7 Formación de yemas en el Medio 1 estandarizado para multiplicación de guayaba.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Enraizamiento

El material vegetal empleado en esta etapa correspondió a segmentos nodales obtenidos por corte del material multiplicado en condiciones *in vitro*. Este procedimiento fue realizado en cabina de flujo laminar previamente desinfectada con luz ultravioleta y en conjunto con todas las condiciones de esterilidad (mechero, medios y material estéril, e implementos de protección personal).

A continuación los explantes fueron sembrados en los medios evaluados, tapados con papel aluminio y sellados con papel film. Finalmente, las siembras fueron incubadas en oscuridad durante 30 días y pasado este tiempo fueron

incubadas bajo las siguientes condiciones para el cultivo: temperatura entre 23 y 30 °C, humedad relativa entre 60 y 70 %, fotoperiodo 16 horas luz con intensidad de 4000 lux. Como condición fisiológica, que se presente buen desarrollo y vigorosidad de la planta (color, turgencia, longitud, emergencia de hojas), ausencia de contaminación, clorosis o marchitamiento (Amin y Jaiswal, 1987; Perea et al., 2010).

Para el enraizamiento de las plántulas de guayaba se evaluaron tres medios en los que se varió la concentración de la auxina Ácido Indol-3-Butírico (AIB) más un medio 0 o testigo (Tabla 3). La unidad experimental correspondió a un frasco con 20 ml del medio por evaluar en el cual se sembraron cuatro explantes, con cinco réplicas y tres repeticiones, para un total de 60 explantes sembrados por tratamiento.

El medio para el enraizamiento de guayaba en condiciones *in vitro* está compuesto por: Medio M&S (1962) con vitaminas Gamborg (5 ml/l), ácido cítrico (100 mg/l), caseína hidrolizada (100 mg/l), sacarosa (30 g/l), Gellan Gum Powder (3 g/l) y AIB (2 mg/l). El desarrollo de un buen sistema radicular en condiciones *in vitro* es un factor determinante en el proceso de aclimatación del material a condiciones *ex vitro*.

Tabla 3 Composición de medios evaluados para enraizamiento de guayaba.

Componentes	Medio 0	Medio 1	Medio 2	Medio 3
M&S básico	100%	100%	100%	100%
Sacarosa	30 g/l	30 g/l	30 g/l	30 g/l
Gellan Gum Powder	3 g/l	3 g/l	3 g/l	3 g/l
Caseína Hidrolizada	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	10 mg/l
Vitaminas Gamborg	5 mg/l	5 mg/l	5 mg/l	1 mg/l
Ácido Cítrico	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
AIB	-	1 mg/l	2 mg/l	3 mg/l

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Para la selección del medio más eficiente se evaluaron las variables:

- **Número de raíces:** el seguimiento y registro de los datos se realizó a partir de la quinta semana posterior a la siembra, cada ocho días durante un mes.
- **Longitud de las raíces:** el registro de los datos se realizó en el proceso de transferencia de las vitroplantas a condiciones *ex vitro*.

La estadística descriptiva mostró que el Medio 2, de 2 mg/l de AIB, fue el más efectivo para el enraizamiento de guayaba (variable número de raíces). La Figura 8 presenta la gráfica con los resultados del número de raíces por explante en función del tiempo y la Figura 9 muestra las raíces desarrolladas bajo diferentes condiciones para algunas de las réplicas con el Medio 2. En la etapa de transferencia de las plantas a condiciones de suelo y aclimatación, se evaluó también la variable longitud de raíz.

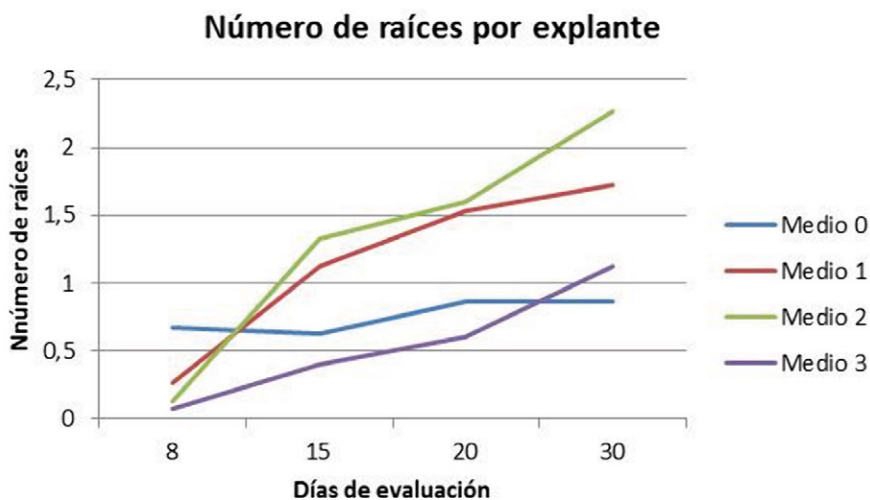


Figura 8 Número de raíces por explante en cada medio evaluado.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).



Figura 9 Formación de raíces en el Medio 2 diseñado para el enraizamiento de guayaba.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

La prueba de ANOVA reveló un valor-p (0,2776) mayor al nivel de significancia (0,05), con lo que se aceptó la hipótesis de igualdad de los datos y se determinó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos utilizados para el enraizamiento de la variedad roja de guayaba.

No obstante, se seleccionó el Medio 2, el cual contenía 2 mg/l de AIB, para el enraizamiento de guayaba, ya que después de dos meses de siembra y uno de evaluación presentó un promedio de 2,27 raíces por explante, característica que en el proceso de enraizamiento permite a la planta una mayor absorción, reserva de nutrientes y mayor soporte para la fase de aclimatación. Así, los resultados para la etapa de enraizamiento mostraron, según la estadística descriptiva, que el Medio 2 fue el más efectivo para el enraizamiento de guayaba (variable número de raíces).

Aclimatación

El material empleado en esta etapa correspondió a vitroplantas resultantes del proceso previo de multiplicación y enraizamiento *in vitro*. Este procedimiento fue realizado en tres condiciones diferentes que se describen a continuación:

El primer grupo de vitroplantas se sembró en un sustrato estéril, en cabina de flujo laminar previamente desinfectada con luz ultravioleta y con todas las condiciones de esterilidad (mechero, medios y material estéril e implemen-

tos de protección personal). Por su parte, el sustrato fue esterilizado tres veces, con 24 horas entre cada ciclo de esterilización.

El segundo grupo de vitroplantas se sembró en sustrato no estéril en invernadero. Antes de la siembra las radículas fueron lavadas con agua para eliminar los restos de medio de cultivo que pudieron quedar adheridos. A continuación, las vitroplantas sembradas se taparon con papel film y se cubrieron individualmente con un vaso de plástico. Finalmente las plántulas fueron mantenidas en un invernadero cubierto, con una temperatura ambiente de entre 23 y 30 °C, una humedad relativa entre 30 y 60 % y un fotoperiodo de 16 horas luz con intensidad de 4000 lux.

En ambos tratamientos se le realizaron agujeros a la cobertura de protección a partir de los ocho días después de la siembra.

Un tercer grupo correspondió a plántulas sembradas en sustrato estéril que a los ocho días se trasplantaron a materas con sustrato no estéril y también se cubrieron con vaso plástico. En este grupo se retiró la cobertura comenzando desde el doceavo día, primero durante 5 min y aumentando el tiempo de apertura en 5 min cada día. Así, a los 20 días de la siembra se retiró la cobertura desde las 5 pm hasta la mañana del día siguiente. La fertilización se realizó con 10 ml de solución fertilizante foliar por matera cada ocho días. A las plántulas en crecimiento se les realizó riego dos veces por semana en horas de la tarde.

Para evaluar los tratamientos de aclimatación se identificó el porcentaje de sobrevivencia del número de plantas de guayaba.

Los resultados de la etapa de aclimatación indican que las plántulas sembradas en sustrato no estéril tuvieron un 50 % de sobrevivencia, mientras que las sembradas directamente en sustrato estéril tuvieron un 42 % de sobrevivencia. La Figura 10 muestra el proceso de aclimatación, que se inicia con la siembra de las vitroplantas en el sustrato, el proceso de aclimatación con cubierta protectora o vaso plástico, y las plantas completamente adaptadas sin cubierta un mes después.

El endurecimiento de plántulas provenientes de producción *in vitro*, así como su adaptación al ambiente natural, es un proceso crítico debido a sus características anatómicas y fisiológicas. Por otro lado, el trasplante del medio de cultivo al sustrato implica una pérdida excesiva de agua que genera una respuesta estomática lenta causada por el estrés hídrico. Por lo tanto, el mantenimiento de la humedad durante la aclimatación es un factor clave en la adaptación de las plántulas al ambiente natural, lo cual se logra protegiéndolas con un vaso plástico durante un periodo de tiempo (Kadam et al., 2017).



Figura 10 Proceso de aclimatación de plántulas de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedad roja común.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Conclusiones

La experimentación realizada aporta información técnica para propagar los materiales de guayaba en condiciones *in vitro*. Se generan así los correspondientes protocolos como un aporte a las comunidades de pequeños productores de guayaba vinculadas al proyecto y de productores de otras regiones del país, quienes pueden disponer de estos componentes biotecnológicos para proyectos productivos que contemplen el uso de materiales de siembra de calidad. A continuación se reúnen las principales conclusiones de esta etapa de propagación en condiciones *in vitro* de plántulas de guayaba variedad roja:

- Se validó el protocolo de desinfección y medio de germinación empleado en la variedad roja común, el cual tuvo un porcentaje de asepsia elevado de 97,2 % y un porcentaje de germinación de 86,2 %.
- El mejor medio para la multiplicación de guayaba en condiciones *in vitro* (Medio 2) está compuesto por M&S con Vitaminas Gamborg 5 ml/l, Putrescina 5 mg/l, Ácido cítrico 100 mg/l, Caseína Hidrolizada 100 mg/l, Sacarosa 30 g/l, Gellan Gum Powder 3 g/l y 1,5 mg/l de 6 BAP (Tabla 3).
- Estos resultados permitieron seleccionar el Medio 2 como el más eficiente para el enraizamiento de guayaba, al desarrollar el mayor número de raíces; resultados corroborados con la medición de la longitud de la raíz, luego de ser transferidos a suelo durante la fase de aclimatación.
- El mejor medio para el enraizamiento de guayaba en condiciones *in vitro* está compuesto por Medio M&S (1962) con Vitaminas Gamborg 5 ml/l, ácido cítrico 100 mg/l, caseína hidrolizada 100 mg/l, sacarosa 30 g/l, Gellan Gum Powder 3 g/l y 2 mg/l de AIB.
- Estos resultados permitieron seleccionar el sustrato tierra-turba (1:1 p/p) como el más indicado para la aclimatación de plántulas *in vitro* de guayaba roja común (*Psidium guajava L.*).

Manejo integrado de fertilización no convencional

Producción y escalamiento de bioinsumos

Sobre la producción de bioinsumos —un componente básico para la estrategia de una agricultura más limpia, de bajo impacto ambiental—, existen desarrollos importantes relacionados con la estandarización de materias primas y protocolos para la producción y escalamiento de varios productos. Estos se constituyen hoy en alternativas de innovación tecnológica, útiles en la agricultura local para los pequeños productores, que pueden convertirse en fuente de ingresos para las organizaciones rurales. Entre estos bioinsumos se disponen los siguientes:

Micorrizas arbusculares: la mayoría de las plantas que crecen sobre la corteza terrestre viven asociadas con ciertos hongos del suelo en una simbiosis mutualista, dando lugar a las llamadas micorrizas (hongo-raíz). En esta asociación, el hongo coloniza biotróficamente la corteza de la raíz y llega a ser parte integrante de dicho órgano en el que desarrolla un micelio extenso, que a modo de sistema radical complementario y altamente efectivo, ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales y agua del suelo. A su vez, la planta hospedadora proporciona nutrientes orgánicos, así como un nicho ecológico protegido para el hongo simbiote, heterótrofo (Azcón y Barea, 1980; Barea et al., 1996; Heijden y Kuyper, 2001).

Las asociaciones simbióticas entre las plantas y hongos pertenecientes a los glomeromicetos (orden de los glomales), más conocidas como micorrizas arbusculares, son consideradas en la actualidad a nivel mundial como biofertilizantes, bioprotectores y biorreguladores para la mayoría de cultivos. Hacen parte del manejo integrado de suelos y de plagas, así como del manejo de los materiales micropropagados en el área de la biotecnología vegetal (Azcón-Aguilar y Barea, 1997; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Heijden y Kuyper, 2001; International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi [INVAM], 2014).

El aislamiento de micorrizas arbusculares se realiza tomando muestras de suelo y rizósfera para aislar los morfotipos por medio de un proceso de tamizaje en húmedo; se selecciona el de interés y se multiplica en una planta hospedera de rápido crecimiento para emplearse como inoculante (INVAM, 2014).

Microorganismos eficientes nativos (MEN) para producción de abono fermentado sólido: son microorganismos nativos de los suelos que tienen gran capacidad para desarrollar una amplia variedad de funciones debido a su versatilidad bioquímica, basada en la posibilidad de llevar a cabo una enorme cantidad de tipos de reacciones (oxidaciones, reducciones, precipitaciones, fermentaciones y otros) sobre los componentes de lo que llamamos vida y que de manera directa o indirecta gobierna todos los procesos de la tierra. Estos microorganismos eficientes nativos son una mezcla de diferentes especies de bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos (Higa y James, 2006; EMTM Research Organization, 2015; Schuldt, 2006).

Microorganismos eficientes nativos para producción de abono fermentado líquido (bioles): los caldos microbiales son bioinsumos líquidos fermentados, preparados con sustancias disponibles en la naturaleza y transformados por la adición de microorganismos eficientes nativos. Su empleo aporta al suelo algunos minerales para la nutrición de las plantas y permite inocular microorganismos activadores de la vida del suelo. Su elaboración se puede adelantar mediante la descomposición y la fermentación aeróbica y anaeróbica de distintos sustratos. Este tipo de bioabono tiene la particularidad de que se puede balancear mediante la adición de elementos minerales deficitarios en el suelo, con el fin de corregir su disponibilidad y facilitar el suministro para las plantas, vía edáfica y foliar, según el caso (Sulca-Solano, 2013).

Módulos locales para producción de bioles a partir de microorganismos eficientes nativos

Protocolo para la captura de microorganismos eficientes nativos

Para capturar microorganismos eficientes nativos en un determinado sitio o región se propone realizar el procedimiento que se describe a continuación.

1. Cocinar arroz (250-500 g) en agua.
2. Poner este arroz ya cocido en un recipiente plástico de boca ancha que tenga dos o tres perforaciones pequeñas a unos 2 cm de la base, para evitar que se llene de agua si es época de lluvias. No llenarlo más arriba de 10 cm. Si es necesario, llenar varios recipientes. Cubrir por encima con una malla (anqueo, sarán) y asegurar con una cuerda.
3. Enterrar este recipiente en el suelo, cerca de un terreno con bastante humedad y ojalá debajo de árboles muy frondosos. Poner encima de la malla que cubre el recipiente materia orgánica en descomposición obtenida del lugar (hojarasca). Asegurar la trampa de arroz con palos, con un cajón o con lo que se tenga a mano para protegerla de los animales que pueden desenterrarlo (perros, gatos, cerdos y ratas, entre otros).
4. Después de una a dos semanas (este tiempo depende del clima, de la época y la altura del lugar) desenterrar el recipiente y sacar el arroz. En ese momento el arroz estará impregnado de bacterias y hongos descomponedores de materia orgánica.
5. Desbaratar el arroz para formar una masa homogénea o, si es posible, licuarlo con agua de buena calidad. Esta solución contiene microorganismos eficientes nativos que pueden servir para iniciar el cultivo y que requiere dos pasos importantes para aplicar: la replicación y la activación.

Protocolo para el mantenimiento de microorganismos a partir de una solución de microorganismos eficientes nativos

Los microorganismos eficientes nativos pueden utilizarse como componente principal dentro de un cultivo líquido. Se obtienen beneficios de ellos cuando son incorporados al suelo, al incrementar la diversidad microbial y restaurar parte de la dinámica natural del suelo en un ambiente determinado.

Para poder usar adecuadamente los microorganismos eficientes nativos en medio líquido es preciso someterlos a dos procesos: la activación de los microorganismos para no perder el material inicial y la replicación que garantice que sus funciones metabólicas (la forma como ellos trabajan) estén en perfecto funcionamiento y que sean capaces de potenciar otros procesos que facilitan o ayudan a producir otros insumos.

Activación de microorganismos eficientes nativos

Para la preparación de una solución madre total de 20 l de microorganismos eficientes nativos replicados se necesita adicionar en un tanque de 20 l los siguientes elementos:

1. 2 l de microorganismos eficientes nativos (la solución de microorganismos del arroz).
2. 2-4 l de melaza diluida con 2-8 l de agua de buena calidad.
3. 250 g de levadura disuelta en agua tibia.
4. 4 l de suero de leche.
5. Opcional: yogur, salsa de soya.
6. Agua de buena calidad para un total de 20 l finales. Esta preparación puede realizarse en tanque plástico que tenga una tapa rosca o un cierre de buena calidad.

Mantener este tanque por espacio de 8 a 20 días a temperatura ambiente en un lugar fresco. Periódicamente aflojar la tapa rosca para liberar gases. Pasado este tiempo se puede hacer uso de este nuevo abastecimiento de microorganismos eficientes (Solución 1 o solución madre). Se puede sustituir la melaza por panela, azúcar morena o jugo de caña.

El proceso de escalamiento de estos microorganismos debe ser progresivo, teniendo en cuenta que se debe utilizar un 10 % de microorganismos en la mezcla total (20-200 l). Un volumen mayor exige pasos intermedios, así:

2 l para 20 l para 200 l para 2000 l y así sucesivamente.

Replicación de microorganismos eficientes nativos

El siguiente paso es replicar los microorganismos eficientes nativos de la Solución 1 (o solución madre), para lo cual se requiere otro tanque con capacidad de 20 l, al que se adicionan:

1. 2 l de Solución 1 (o solución madre) de microorganismos eficientes nativos.
2. 4 l melaza diluidos en 8-10 l agua de buena calidad.
3. 2 vasos (250 ml) de yogur de buena calidad.
4. Un l de solución de levadura (disolver 250 g de levadura de cualquier tipo).
5. Completar con agua de buena calidad hasta llegar a 20 l (la capacidad del tanque).
6. Mantener este tanque por espacio de 8 a 20 días a temperatura ambiente en un lugar fresco. Periódicamente aflojar la tapa rosca para liberar gases. Pasado este tiempo se puede hacer uso de este nuevo stock de microorganismos eficientes (Solución 2).

Usos: el producto ya listo (Solución 2) puede ser utilizado solo o diluido en agua para la preparación de abonos orgánicos; estos se adicionan con el fin de que los microorganismos eficientes nativos aceleren el proceso de compostaje del material a procesar.

Protocolo para la preparación de bioles

El biol es un preparado líquido, casero o artesanal, que se produce en un fermentador. Es el producto de la descomposición anaeróbica (sin presencia de aire) de desechos orgánicos por microorganismos eficientes y la adición de algunos elementos que no son de síntesis química, que posteriormente van a servir como fuente de fertilización, nutrición y control fitosanitario a las plantas (Sulca-Solano, 2013).

Para preparar los bioles se requieren elementos como los que se exponen a continuación:

1. Tanques plásticos o canecas de 25, 50, 100 o 200 l con tapa de seguridad o cierre hermético (aro metálico con caucho). Seleccionar el recipiente según la cantidad que se requiera por cada explotación.
2. Un conector (macho y hembra) de rosca de ½ pulgada de diámetro, conectores o codos y tubos de PVC del mismo calibre que deben conectarse al centro de la tapa del tanque que se vaya a usar. Es muy importante sellar herméticamente este aditamento para que no se escapen gases de la fermentación; si esto ocurre, el proceso no podrá llevarse a cabo eficientemente.
3. Instalar una válvula, tubos y manguera elástica de un metro o más, para facilitar el escape controlado de gases provenientes de la fermentación.
4. A cada tanque debe acondicionarse un recipiente plástico de 2 a 3 l (por ejemplo, una botella con una perforación en la parte superior por donde se introduce la manguera). Se llena el recipiente con agua y se introduce la manguera para ver, a través de las burbujas, la evacuación de los gases que se forman durante el proceso de fermentación.

La preparación de sustratos o materiales para preparar el biol en un tanque de 100 l requiere adicionar:

1. 10 l de microorganismos eficientes nativos (Solución 2).
2. 5 a 10 l de melaza.
3. Yogur y salsa de soya.
4. Un l de solución de levadura (disolver 250 g de levadura de cualquier tipo).
5. Agua de buena calidad hasta completar el volumen del tanque utilizado. Revisar el volumen total de lo que se ha adicionado y completar con agua de buena calidad. Es necesario dejar un espacio libre de 20 a 30 cm del tanque, no llenar hasta la tapa superior, de tal forma que la cámara de aire que queda allí permita la oxigenación inicial para arrancar el proceso. Este oxígeno que queda allí es consumido en los primeros 30-60 min por la acción de los microorganismos y luego se pasa a un proceso totalmente anaerobio.
6. Cerrar el tanque y verificar que no haya escape de gas por un lugar diferente al de la manguera que está en el agua. Los tanques comienzan con una actividad de fermentación que es muy acelerada en los primeros días, pero poco a poco va disminuyendo. El proceso normalmente se completa entre el día 20 y 30, tiempo necesario para culminar el proceso y tener un producto terminado y listo para su uso.

Usos: el biol ya listo puede ser utilizado para aplicarse diluido en agua, en proporción 1:4 (1 l de biol por 4 l de agua), para aplicación con bomba de espalda a los cultivos. Esta dosis es mínima para iniciar un proceso de calibración por cada cultivo, que dependerá de su etapa fenológica (estado de crecimiento del cultivo), así como de la semilla, de las condiciones del suelo y de las condiciones del medio ambiente (temperatura, humedad, exceso de lluvia o sequías, entre otros). Hay que definir cuál es la dosis por cultivo en cada explotación y cuál será la frecuencia de aplicación, que variará entre 5, 8, 15, 30, 45 y 60 días, según las necesidades y la respuesta del cultivo. Es necesario llevar un registro detallado de la forma, la dosis y la frecuencia de aplicación por cultivo.

El producto terminado puede permanecer almacenado en un lugar fresco y bien tapado durante un periodo de 4 a 6 meses, aproximadamente. La manipulación del producto debe ser cuidadosa al momento de retirar una parte, para no contaminarlo y garantizar que su vida útil sea mayor. La Figura 11 ilustra etapas de los procesos descritos en este protocolo.

Los bioinsumos líquidos producidos en fincas locales se sometieron a análisis microbiológicos con el fin de verificar que estos productos están libres de microorganismos patógenos y coliformes posibilitando su aplicación a los cultivos establecidos de guayabos de procedencia *in vitro*, sin que representaran riesgo para las plantas y las personas que los usan.



Figura 11 Secuencia de la producción de biol en la finca "Don Chucho". 1) Adición de solución de réplica. 2 y 3) Adición de materiales como melaza y agua. 4, 5 y 6) Cierre del tanque fermentador que se dejará en reposo por mínimo 30 días.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Módulos locales para producción de micorrizas arbusculares

La producción de un módulo local de multiplicación de hongos de micorriza arbuscular (HMA) nativos se ilustra en la Figura 12 y se describe en las siguientes etapas:

1. Construir una era de 10 × 1 m sobre la superficie del suelo.
2. Cubrir este terreno con un plástico negro calibre 6 y dejar un borde suficiente para soportar el sustrato que se depositara allí. Emplee estacas u otro material disponible para sostener este plástico que asemeja a una cama.
3. Rellenar la era de plástico con suelo de la propia explotación, ya cernido y desterronado. La altura no debe sobrepasar los 40-50 cm.
4. Hacer surcos para sembrar los hospederos seleccionados. Estos deben ser preferiblemente una planta de rápido crecimiento, como maíz o frijol.
5. Sembrar los hospederos intercalados con una distancia no mayor a 10 o 15 cm; deben manejarse altas densidades de siembra.
6. Cuidar que las semillas queden cubiertas y si es posible utilizar una polisombra para su protección antes de su emergencia.
7. Regar el cultivo según se requiera. Las plantas emergerán de 8 a 12 días después.
8. Cuando los hospederos (maíz o frijol) estén en la etapa de floración, suspender el riego. Las plantas entrarán en un proceso de estrés hídrico, lo que las obligará a generar propágulos de micorrizas en forma masiva (esporas).
9. Cuando la planta se seque, se puede cortar la parte aérea y dejar solo las raíces en el sustrato (suelo). Las raíces deben picarse finamente en el sustrato y dejar secar este suelo. De esta forma se obtiene un inóculo con propágulos que serán las esporas y los fragmentos de las raíces.
10. El inóculo seco puede ser empleado para aplicarse en diferentes dosis a las plántulas o especies que van a ser llevadas a sitio definitivo en campo. La dosificación en gramos depende del estado fenológico del cultivo y las condiciones del suelo.



Figura 12 Secuencia de la producción de una era para multiplicación de hongos de micorriza arbuscular (HMA) en las fincas “Don Chucho” y “El Jardín”. a y b) Construcción de la era. c) Llenado de la era con suelo de la finca. d y e) Siembra de los hospederos, frijol y maíz. f, g y h) Monitoreo de los hospederos en pleno crecimiento. i) Procesos de intercambio de conocimientos con respecto a la producción del inóculo local de HMA. Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Evaluación de bioinsumos en plántulas de guayaba

Para tener una valoración de forma rápida sobre el comportamiento de los dos bioinsumos que se prepararon en las PIPA de Anolaima, se estableció un ensayo sobre 250 plántulas de guayaba de procedencia *in vitro*. La Figura 13 ilustra el desarrollo de tratamientos con los bioinsumos aplicados en plántulas de guayaba roja común, para determinar el efecto de estos sobre el porcentaje de supervivencia de las plantas, de acuerdo a los siguientes tipos de tratamiento.

1. Testigo o tratamiento control, sin adición de ningún bioinsumo.
2. Hongos micorriza arbuscular (HMA): el sustrato utilizado es el inóculo de micorrizas producido localmente.
3. Biol + HMA: sustrato de inóculo local de HMA más la adición de 1 ml de biol diluido en 9 ml de agua (1:9).
4. Biol: 1 ml de biol diluido en 9 ml de agua (1:9).

La aplicación del biol se realizó cada 15 días.



Figura 13 Distribución de tratamientos de bioinsumos y aplicación de los mismos en plántulas de guayaba roja común en Anolaima.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Diseño preliminar de un paquete tecnológico de producción de bioinsumos para la producción agrícola de guayaba en Cundinamarca

Para las plantaciones de guayaba roja establecidas en el municipio de Anolaima con material de procedencia *in vitro* se pudo establecer que el empleo de bioinsumos —en este caso hongos de micorriza arbuscular (HMA) y el uso de microorganismos eficientes nativos (MEN) empleados en la preparación de un biofertilizante líquido (biol)— es una estrategia efectiva de fertilización no convencional para plantas de guayaba en el municipio de Anolaima. El uso de bioinsumos fue la estrategia que los productores apropiaron y aplicaron en los cultivos con resultados que se destacan a continuación:

- La utilización de HMA + bioles en las fases de aclimatación y vivero de plántulas de guayaba roja de procedencia *in vitro* favoreció el porcentaje de supervivencia hasta en un 85 % del total.
- Para plantaciones de guayaba roja común establecidas, la aplicación de dosis periódicas de biol favoreció la nutrición de la planta y reduce la incidencia de enfermedades fitosanitarias. El biol se debe aplicar diluido en agua (1:5 o 1:4) cada 15 días, asperjado a la planta y al suelo en la base del tallo (Figura 14).

Un diagrama del paquete tecnológico que se aplicó en el municipio de Anolaima se encuentra resumido en las Figuras 14, 15 y 16.



Figura 14 Aplicación periódica de biol en plantaciones de guayaba ya establecidas.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

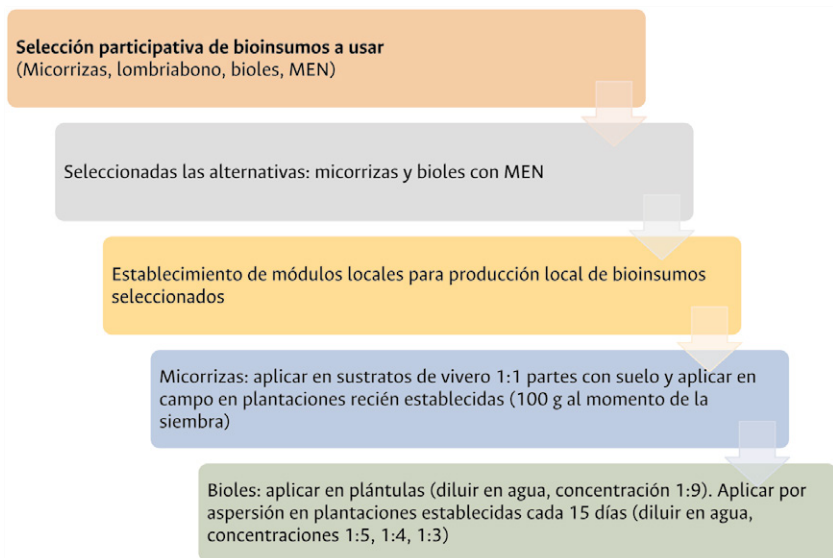


Figura 15 Diagrama de la selección participativa de bioinsumos por emplear en plantaciones de guayaba ya establecidas. Nota: MEN = microorganismos eficientes nativos.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

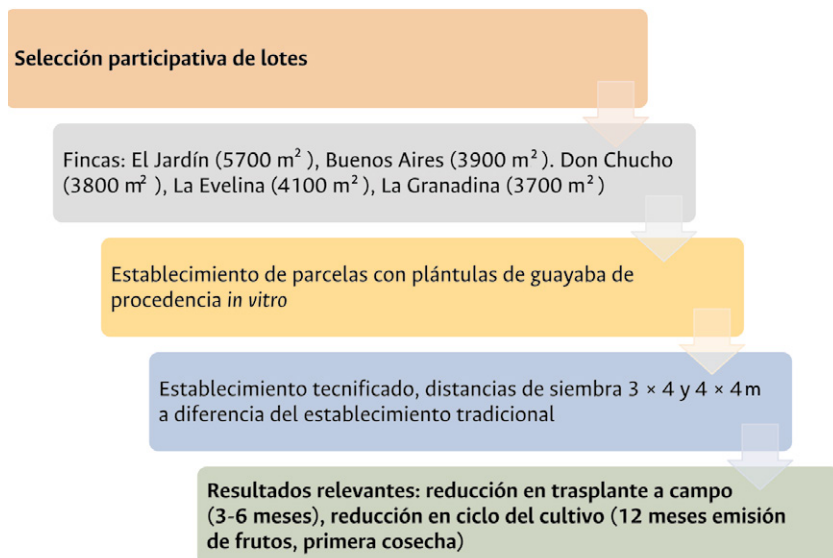


Figura 16 Diagrama general de lotes seleccionados para plantaciones de guayaba ya establecidas con material *in vitro* y los principales resultados de la aplicación del uso de bioinsumos.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Análisis microbiológico de bioles producidos localmente en fincas del municipio de Anolaima

Se realizó un análisis microbiológico para los bioles producidos en las fincas locales empleando la técnica de dilución en placa en medios específicos. En la Tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos realizados bajo las siguientes condiciones: incubación a una temperatura de 25 °C, tiempo de cultivo de 48 horas para bacterias y 4 días para hongos. Posteriormente al crecimiento de microorganismos aislados, se realizan observaciones microscópicas de algunos de estos microorganismos aislados para observación morfológica.

Para la determinación de *Salmonella* se emplearon medios de preenriquecimiento, enriquecimiento selectivo y placas de medios específicos y coliformes totales, fecales y *E. coli*, en placas de medio cromogénico a una temperatura de 37 °C por 24 horas.

El estudio permitió corroborar que los biofertilizantes líquidos preparados por los productores en sus fincas estaban libres de microorganismos patógenos y coliformes totales, de tal manera que se pudieron aplicar a los cultivos establecidos de guayabos de procedencia *in vitro* sin que representaran riesgo para las plantas.

El análisis nos indica que, dada la población de bacterias de *Bacillus subtilis*, estos microorganismos biosintetizan enzimas específicas que contribuyen a reducir la acidez del suelo, y disminuir los riesgos de toxicidad del aluminio (Al). También los microorganismos fijadores de nitrógeno asimbiótico y los actinomicetos que se encuentran en el biol aportan nitrógeno (N), ya que el aporte en sí del líquido es muy escaso (Chilon y Chilon, 2015).

La aplicación regular de los bioles permite una fertilización foliar y edáfica que aminora los síntomas fitosanitarios y que, por su concentración de microorganismos, favorece la nutrición y facilita la disposición de algunos nutrientes del suelo.

Tabla 4 Resultados de análisis microbiológicos de biotes producidos localmente.

Muestra	Bacterias UFC/ml	Hongos UFC/ml	Actinomicetos UFC/ml	Fijadores de nitrógeno asimbióticos UFC/ml	Solubilizadores de fósforo UFC/ml	Microorganismos fitopatógenos (bacterias/hongos) UFC/ml
1-Finca El Jardín	$1,5 \times 10^7$	$8,7 \times 10^5$	$1,0 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	Ausencia (<i>Solimonella</i> spp. ausencia) Coliformes totales < 100 (coliformes fecales y <i>E. coli</i> ausencia)
	Gram-positivas y Gram-negativas (<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus</i> sp., <i>Pseudomonas</i> sp.)	Levaduras				
2-Fincas Buenos Aires y Don Chucho	$1,3 \times 10^8$					$1,2 \times 10^2$ <i>Penicillium</i> sp.
	<i>Lactobacillus</i> sp.					
2-Fincas Buenos Aires y Don Chucho	$6,6 \times 10^6$	$2,6 \times 10^4$	< $1,0 \times 10^3$	$3,2 \times 10^4$	$2,4 \times 10^4$	Ausencia (<i>Solimonella</i> spp. ausencia) Coliformes totales < 100 (Coliformes fecales y <i>E. coli</i> ausencia)
	Gram-positivas y Gram-negativas	Levaduras				
3-Finca La Granadina	$1,2 \times 10^8$					
	<i>Lactobacillus</i> sp.					
3-Finca La Granadina	$3,2 \times 10^6$	$4,1 \times 10^4$	< $1,0 \times 10^3$	$1,2 \times 10^4$	$3,9 \times 10^6$	Ausencia (<i>Solimonella</i> spp. ausencia) Coliformes totales < 100 (Coliformes fecales y <i>E. coli</i> ausencia)
	Gram-positivas y Gram-negativas	Levaduras				
4-Finca La Evelina	$1,2 \times 10^8$					
	<i>Lactobacillus</i> sp.					
4-Finca La Evelina	$2,5 \times 10^6$	$3,5 \times 10^4$	$2,6 \times 10^3$	$1,0 \times 10^7$	$3,9 \times 10^5$	Ausencia (<i>Solimonella</i> spp. ausencia) Coliformes totales < 100 (Coliformes fecales y <i>E. coli</i> ausencia)
	Gram-positivas y Gram-negativas	Levaduras				
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).	$8,7 \times 10^7$					$2,3 \times 10^2$ <i>Penicillium</i> sp.
	<i>Lactobacillus</i> sp.					

Análisis de suelos

La caracterización inicial de 19 suelos en la zona productora de guayaba en el municipio de Anolaima nos presenta un porcentaje elevado de suelos francos (57,9 %), que favorecen el óptimo desarrollo del cultivo. El resto de los suelos corresponden a suelos arenosos (42,1 %), que no son limitantes para el desarrollo del cultivo. Con relación al pH del suelo, la franja más favorable está entre 5 y 7. El 73,7 % de los suelos analizados está en este rango y solo un 26,3 % presenta mayor acidez. Se presentaron contenidos de altos a medios de nitrógeno y carbono orgánico oxidable (94,74 %); contenidos bajos y medios de fósforo en un 68,4 % y altos en un 31,6 %. Es de resaltar el contenido alto de potasio en todas las muestras, nutriente esencial que le confiere dulzor al fruto en estos suelos.

Análisis foliar en plantas tratadas con biol

Una vez realizado el análisis foliar en hojas de árboles de guayaba establecidos en Anolaima, se tienen los siguientes resultados que reflejan el comportamiento de respuesta a la fertilización no convencional.

El tratamiento que sirvió de control fueron las hojas tomadas de árboles sin aplicación del biol en la finca El Jardín (El Jardín 3), cuyos valores en algunos casos fueron inferiores a las muestras que sí recibieron el tratamiento cada 15 días en las fincas El Jardín, Don Chucho, La Granadina y La Evelina (Tabla 5).

Tabla 5 Análisis foliar de plantaciones establecidas en Anolaima bajo tratamiento con bioles.

Finca*	Muestra	N	P	Ca	Mg	K	Cu
El Jardín	1	1,80	0,27	0,73	0,20	1,50	16,9
Don Chucho	2	1,29	0,28	1,25	0,21	1,39	9,40
El Jardín	3 (testigo)	1,26	0,19	0,83	0,19	1,39	11,5
La Granadina	4	1,59	0,17	0,50	0,23	1,25	8,51
La Evelina	5	1,39	0,28	1,27	0,22	1,45	13,1
Valor de referencia óptimo (%)		1,70	0,25	1,25	0,25	1,50	8,0

*Nota: Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá (Reporte 129 de 2019). Se analizaron los elementos nitrógeno (N), fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y cobre (Cu). Los valores se expresan en porcentaje (%).

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Resultados y recomendaciones

Las actividades desarrolladas para este proceso de innovación tecnológica y social con la participación directa de pequeños productores durante todo el proceso de investigación y transferencia de tecnología, garantizaron la adopción de estas tecnologías a nivel local. Estas actividades tienen un impacto significativo en los sistemas de producción, en la organización de la comunidad y en la generación de nuevas oportunidades de empleo a nivel regional sin impacto negativo sobre las fuentes de recursos naturales y sobre el ambiente (Corredor et al., 2013).

Con el desarrollo de las actividades llevadas a cabo en el municipio de Anolaima se pudieron determinar las pautas básicas para el establecimiento del núcleo productivo de investigación participativa y recomendar un paquete tecnológico de producción de bioinsumos. Este modelo arrojó los siguientes resultados:

- Cinco fincas sembradas con material de procedencia *in vitro* diseñaron un arreglo en cuadro o tresbolillo de $3,5 \times 3,5$ m; 3×4 m y 4×4 m. Estas distancias de siembra se establecieron de acuerdo con la pendiente de los lotes, que en algunas fincas alcanzan rangos entre el 20 y el 45 %. En lotes con pendientes tan pronunciadas, los productores prefieren la siembra en triángulo para proteger el suelo y aprovechar mejor el espacio.

- Siembra de plantaciones tecnificadas en reemplazo de las plantaciones tradicionales, en las que no se tenían en cuenta las distancias de siembra y las semillas generalmente eran dispersadas al azar por los animales.
- Reducción de la fase de vivero en trasplante a campo. Se logró realizar el trasplante de 3 a 6 meses después de la siembra, en comparación con el material tradicional que requiere aproximadamente de 10 a 12 meses.
- Fructificación temprana: reducción en el tiempo de aparición de frutos para la primera cosecha. Se reduce el tiempo en 12 a 15 meses frente al cultivo tradicional no tecnificado.
- Para el primer año de cosecha –que se realiza en el segundo trimestre del año (abril-junio)– cada árbol está en capacidad de producir un promedio de 6 a 8 kg de fruta, con frutos promedio de 200 g cada uno para la primera cosecha. En las cosechas posteriores el peso promedio por fruto aumenta, así como el número de frutos por planta (Figura 17).



Figura 17 a) Plantas de guayaba de procedencia *in vitro* en la finca La Evelina en plena producción (primera cosecha). b) Frutos sanos cosechados.

Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

En los cultivos establecidos en este núcleo productivo podemos evidenciar las bondades de aquellos de procedencia *in vitro*. Se destacan los siguientes resultados:

- El trasplante de las plántulas a sitio definitivo puede hacerse antes de los tres meses.
- El establecimiento se realizó con distancias de siembra definidas de $3 \times 3,5$ m; 4×4 m o 3×4 m. La siembra se hizo en cuadro o tresbolillo, no de forma espontánea y natural (dispersión de semilla por ganado y aves). Los productores de la zona prefieren sembrar en triángulo (tresbolillo) ya que algunos de sus terrenos tienen una pendiente igual o superior al 20 %.



Figura 18 Grupo de productores de Anolaima y equipo de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia.
Fuente: Equipo CTA-2, Subproyecto Semillas (2018).

Referencias bibliográficas

- Agronet (2014). *Sistema de Estadísticas Agropecuarias*. Recuperado (15 de enero de 2014) de http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/ReportesAjax/parametros/reporte16_2011.aspx
- Amin, M. N. y Jaiswal, V. S. (1987). Rapid clonal propagation of guava through in vitro shoot proliferation on nodal explants of mature trees. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 9(3), pp. 235-243.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. (2000). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular* (pp. 5-10), Montecillos, Texcoco, México: Mundi Prensa, Colegio de Postgraduados.
- Azcón-Aguilar, C. y Barea, J. M. (1997). Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*, 68(1-4), pp. 1-24.
- Azcón, G. C. y Barea, J. M. (1980). Micorrizas. *Investigación y Ciencia*, 47, pp. 8-16.
- Barea, J. M., Calvet, C., Estaun, V. y Cambrubi, A. (1996). Biological control as a key component in sustainable agriculture. *Plant and Soil*, 185, pp. 171-172.
- Buitrago, G. y Bustamante, S. (2017) Innovación social y biotecnología: sumando estrategias efectivas para el desarrollo rural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, pp. 58-62. Universidad Nacional de Colombia.
- Chilon, C. E. y Chilon, M. J. (2015) Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA). *CienciAgro* (2015) 1, pp. 35-42, Recuperado de http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rca/v1n1/v1n1_a05.pdf
- Corredor, G. A., Baquero, C., Espitia, A., Ramírez, M., Benavides, J., Narváez, G. y Moreno, H. (2013). Social and technologic development model for yam (*Dioscorea* spp.) production systems: Scaling-up biological and organic inputs with the effective participation of farmers. *First Global Conference on Yam* (3 a 6 de octubre de 2013), ACCRA.

- Fundación Produce de Guerrero, A. C. (2012). La guayaba en el mundo. En Gobierno del Estado de Guerrero (México) [Ed.], *Agenda de Innovación Estatal 2012-2015* (pp. 189-194). Recuperado de <https://issuu.com/fundacionproduceagro/docs/agendadeinnovacion2012>
- Gutiérrez, A. (2013). *Evaluación de la calidad de frutos de guayaba (Psidium guajava L.) del Banco de Germoplasma de Corpoica Palmira* (Trabajo de grado para optar por el título de Magister en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia.
- Higa, T. y James, P. F. (2006). *Microorganismos benéficos y eficaces para una agricultura y medio ambiente sustentable*. Recuperado de http://www.em-la.com/drteruo_higa_en.php
- Kadam, N. N., Tamilselvan, A., Lawas, L. M. F., Quinones, C., Bahuguna, R. N., Thomson, N., Dingkuhn, M. Raveendran, M., Struik, P. C., Yin, X. y Krishna-Jagadish, S. V. (2017). Genetic control of plasticity in root morphology and anatomy of rice in response to water deficit. *Plant Physiology* 2017, 174(4), pp. 2302-2315. doi:10.1104/pp.17.00500.
- EMTM Research Organization (2015). *Portal oficial de la Tecnología EMTM en América Latina*. Recuperado de <https://www.em-la.com/es/>
- Heijden E. W. y Kuyper, T. H. W. (2001). Does origin of mycorrhizal fungus or mycorrhizal plant influence effectiveness of the mycorrhizal symbiosis? *Plant Soil* 230, pp. 161-174. doi: 10.1023/A:1010377320729
- International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi [INVAM] (2014). INVAM West Virginia University. Recuperado de <http://invam.wvu.edu/>
- Lozano, J. C., Toro, J. C., García, R. y Tafur, R. (2002). *Manual sobre el cultivo de guayabo en Colombia*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). *Cadena de Guayaba. Indicadores e instrumentos*. Recuperado de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Guayaba/Documentos/2018-09-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Perea, M., Tirado, P. A. y Matallana, L. P. (2010). Guayaba. En Universidad Nacional de Colombia (Ed.), *Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales* (pp. 305-329).
- Schuldt, M. (2006). *Lombicultura. Teoría y práctica*. Editorial Mundi-Prensa Libros.
- Sulca-Solano, Y. F. (2013). *Efecto de microorganismos efectivos (EM) foliar, bocashi y biol en la producción del cultivo de trigo (Triticum vulgare L.) asociado con trébol (Medicago hispida) en condiciones de Rayanniyoc, Anta, Acobamba*. Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/147>

Este manual se imprimió
por DGP Editores S.A.S
usando tipos Ancizar
en enero de 2024
Bogotá (Colombia)

El Corredor Tecnológico Agroindustrial (CTA) es una estrategia de cooperación entre Estado, sector productivo y academia, en la cual participan actores directivos del sector agropecuario y agroindustrial de Cundinamarca y Bogotá, D. C., con el fin de aunar esfuerzos en actividades de desarrollo y fortalecimiento de la ciencia, la tecnología y la innovación. Sus capacidades están orientadas a la formulación y ejecución de proyectos de carácter investigativo, que permitan la transferencia tecnológica al sector agropecuario y agroindustrial.

El presente documento es resultado del Subproyecto “Desarrollo y transferencia de componentes biotecnológicos en la producción de material vegetal de siembra implementando un modelo de innovación social con productores de la ruralidad de Bogotá y del Departamento de Cundinamarca”, desarrollado en el marco del Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2, Proyecto “Investigación, desarrollo y transferencia tecnológica en el sector agropecuario y agroindustrial con el fin de mejorar todo el departamento, Cundinamarca, Centro Oriente”, suscrito por la Gobernación de Cundinamarca, a través de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación; la Alcaldía de Bogotá, a través de la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico; la Universidad Nacional de Colombia, y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA, antes Corpoica). El Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2 es financiado con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías.

ISBN: 978-958-505-479-0



9 789585 054790