

2015
2019

Ciencia y Tecnología
para el café
del Huila



2015-2019



Aplicación de ciencia,
tecnología e innovación en el

cultivo del café

ajustado a las condiciones
particulares del

HUILA



**Comité de Cafeteros
de Huila**



Comité Nacional

Alberto Carrasquilla Barrera
Ministro de Hacienda y Crédito Público

Andrés Valencia Pinzón
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

José Manuel Restrepo Abondano
Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Gloria Amparo Alonso Másmela
Director del Departamento Nacional de Planeación

Nicolás Pérez Marulanda
**Representante del Gobierno en
Asuntos Cafeteros**

Período 1° enero/2019- diciembre 31/2022

José Eliecer Sierra (Antioquia)

José Alirio Barreto (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinando Vivas (Cauca)

Juan Camilo Villazón (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar (Magdalena)

Jesús Armando Benavides (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Olivo Rodríguez Díaz (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Roberto Vélez Vallejo
Gerente General

Carlos Alberto González Arboleda
Gerente Administrativo

Juan Camilo Becerra Botero
Gerente Financiero

Juan Camilo Ramos Mejía
Gerente Comercial

Hernando Duque Orrego
Gerente Técnico

Álvaro León Gaitán Bustamante
Director Investigación Científica y Tecnológica

Comité Editorial Cenicafé

Pablo Benavides M.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.

Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña Z.

Ph.D. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé

Diana María Molina V.

Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

**Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de
textos y corrección de estilo**

Sandra Milena Marín L.

M.Sc. Ing. Agrónomo.

Dilvulgación y Transferencia, Cenicafé

Diseño y diagramación

Paula Andrea Marroquín Bonilla

Fotografías

Archivo Cenicafé

Impreso por

Editorial Blanecolor S.A.S.

Manizales

Gobernación del Huila

Carlos Julio González Villa - Gobernador del **Departamento del Huila**

Rodney Perdomo Hurtado - Director Departamento **Administrativo de Planeación**

Patricia Aranaga Rojas - Coordinadora de Ciencia, **Tecnología e Innovación**

Jesús Albeiro Caicedo Rincón - **Interventor**



Como citar:

Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.). (2019). *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila: Vol. 1. 2015-2019*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0005>





Carlos Julio González Villa
Gobernador del Huila





LA TIERRA DEL MEJOR CAFÉ

Hoy, nuestra extraordinaria "Tierra de promisión" se erige como territorio líder en Colombia en producción de café, y en otros sectores productivos que dinamizan su economía.

El mejor café del país se cultiva en el Huila. Y lo es no solo por la laboriosidad de más de 80.000 familias dedicadas al cultivo, la generosidad de la tierra y sus climas, y la organización cafetera. Lo es también como resultado de nuevos procesos liderados y articulados desde el Gobierno de El Camino es la Educación.

Avanzamos con nuestro programa de renovación de 9.000 hectáreas, a lo que se suma la diversificación de 4.000 hectáreas más con cultivos de maíz y frijol, proceso que beneficia 25.413 familias.

Mejoramos las vías rurales con cementación de 116 kilómetros en placa huella; ejecutamos obras en infraestructura educativa rural; desarrollamos programas de electrificación y gasificación rural en zonas distantes que no contaban con estos servicios básicos, y creamos la estrategia 'Tienda Marca Huila' para impulsar la exposición y venta de cafés especiales dentro y fuera del departamento.

Nuestro compromiso con nuestro café va más allá, y comprende el enorme desafío que el cambio climático representa para la más importante apuesta productiva del Huila. Por ello, gestionamos la aplicación de la ciencia, la tecnología y la innovación hacia una cafcultura climáticamente inteligente.

Como en otras regiones del país, el café transformó la economía y el territorio del Huila, y trasladó el eje de la producción del grano desde el centro occidente colombiano a esta región del sur, ahora protagonista por volúmenes, calidad, sabor y aroma de talla mundial.

El Huila es, sin duda, la tierra del mejor café.



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|------------|
| Introducción | 4 |
| 1. Zonas Agroecológicas | 8 |
| • Conceptos sobre zonificación | 10 |
| • Zonificación agroecológica para café | 11 |
| • Entorno de las zonas agroecológicas cafeteras (ZAE) | 14 |
| • Descripción de las zonas agroecológicas cafeteras | 16 |
| • Aplicativo zonas agroecológicas | 29 |
| • Literatura citada | 31 |
| 2. Herramientas Agroclimáticas | 32 |
| • Aspectos técnicos y etapas de instalación de la red meteorológica | 36 |
| • Ubicación, sensores y equipos que componen la red meteorológica automática | 38 |
| • La Plataforma Agroclimática Cafetera | 49 |
| • Literatura citada | 51 |
| 3. Micorrizas Arbusculares | 52 |
| • ¿Qué son las Micorrizas Arbusculares – MA? | 55 |
| • Micorrizas arbusculares en sistemas productivos de café en el departamento del Huila (2016 – 2019) | 63 |
| • Consideraciones | 76 |
| • Literatura citada | 78 |
| 4. Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición | 80 |
| • Introducción | 82 |
| • ¿Cómo se desarrolló el estudio? | 82 |
| • Literatura citada | 105 |
| 5. Alertas tempranas para el manejo de plagas | 106 |
| • El clima | 110 |
| • Floraciones del café | 114 |
| • Plagas del café | 117 |
| • Alertas tempranas | 120 |
| • Literatura citada | 135 |
| 6. Alertas tempranas para el manejo de enfermedades | 136 |
| • Floración del café en dos regiones del Huila | 139 |
| • Validación de los criterios para el manejo integrado de roya del cafeto en el Sur del Huila | 153 |
| • Recomendaciones | 158 |
| • Literatura citada | 160 |
| 7. Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café | 162 |
| • Introducción | 164 |
| • Análisis sensorial de café | 176 |
| • Composición química del café verde | 178 |
| • Descripción de las fincas participantes en la caracterización de la calidad del Huila | 180 |
| • Denominación de Origen | 185 |
| • Literatura citada | 186 |





El departamento del Huila es el primer productor de café en Colombia, el primero en extensión cafetera y, en 35 de sus 37 municipios se produce café, cultivo que cubre su geografía de Norte a Sur, en dos cordilleras (Oriental y Central); su diversidad de suelos y las condiciones climáticas, por la influencia de la Amazonia y del Macizo Colombiano, la hacen única en el país. El Huila cafetero ha ganado un espacio en la producción de cafés de alta calidad, situación que ha sido favorecida por las características antes mencionadas.

Este departamento cuenta con 35 municipios cafeteros y un total de 147.097 ha, 82.366 caficultores cedulados, con 99.731 fincas, por lo que se requiere un amplio esfuerzo en la transferencia de tecnología, capacitación y acceso a programas de inversión social, proporcionados por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila a través del Servicio de Extensión Rural.

La caficultura del departamento se apalanca en un 97% en pequeños caficultores, con áreas menores a 5 ha, el 2% son caficultores medianos que tienen entre 5 y 10 ha, y un 1% de caficultores grandes, con más de 10 hectáreas.

El área cultivada en café está distribuida en siete ecotopos, localizados en las cordilleras Central y Oriental, con unas características generales de bajo brillo solar con menos de 1.600 horas al año y precipitaciones inferiores a 1.600 milímetros. En los escenarios actuales de variabilidad climática, principalmente aquellos asociados a eventos El Niño y La Niña, que han sido reiterativos durante los últimos años, se ha evidenciado la alta vulnerabilidad de la zona cafetera a balances hídricos negativos, los cuales afectan la producción y productividad, la calidad de las cosechas influyendo en sus características físicas, químicas y sensoriales; de igual forma, estas condiciones climáticas alteran la dinámica de plagas y enfermedades.





INTRODUCCIÓN

Para ajustar el modelo productivo del café del Huila frente a la variabilidad climática y fortalecer la caficultura en términos de productividad y competitividad, con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías–Gobernación del Huila y de la Federación Nacional de Cafeteros, se financió el proyecto ***“Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila”***, el cual fue realizado por el Centro Nacional de Investigaciones del Café- Cenicafé y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila. Con esta iniciativa se están beneficiando más de 82.000 familias cafeteras, con cobertura en 35 municipios, facilitando las condiciones para fortalecer los procesos de producción del grano.

Dentro de los resultados, los cuales se entregan en el presente libro se destacan: la verificación de seis Zonas Agroecológicas, en las cuales se identificaron los factores bioclimáticos que más afectan la producción del cultivo de café en el departamento del Huila, lo cual permitirá desarrollar estrategias de adaptación a través de la implementación de prácticas de cultivo en sistemas de producción con densidades, arreglos espaciales y modelos agroforestales, ajustados a las condiciones particulares de las zonas cafeteras del departamento.

Con la caracterización química y física de más de 7.000 muestras de suelo se determinó la fertilidad, los requerimientos de nutrición y las condiciones físicas, con el fin de ajustar las recomendaciones de las zonas cafeteras del departamento.

Se generaron estrategias para el control de la calidad del café, que impactan positivamente la comercialización, al ofrecer a los clientes finales un producto con mayor fidelidad desde el punto de vista de calidad y que, además apuntan al mejoramiento de la cultura del café, a través del monitoreo continuo a la calidad del departamento mediante el análisis físico, químico y sensorial del café.





Se entrega un estudio sobre la biodiversidad de micorrizas arbusculares en los suelos del departamento; estos organismos son importantes por la capacidad de formar una verdadera relación simbiótica/mutualista con las raíces de plantas de café y el potencial ofrecido que se traduce en una serie de beneficios para la planta, principalmente en aspectos de crecimiento, desarrollo y sanidad.

Se resalta el fortalecimiento de la red climática del departamento con la instalación de diez estaciones meteorológicas automáticas y ocho microestaciones, las cuales permiten monitorear las condiciones climáticas que interactúan con la producción del café, que a su vez están articuladas con sistemas de alertas tempranas para problemas fitosanitarios como la broca del café, plaga que impacta negativamente la caficultura de algunos municipios cafeteros del departamento, especialmente en eventos climáticos como El Niño, con condiciones que favorecen su reproducción, dispersión e infestación de frutos de café; también se generaron alertas tempranas para la chinche de la chamusquina del café, plaga emergente en el sur del país, y que se ve favorecida especialmente por la humedad relativa.

Se incluyeron estudios epidemiológicos y de manejo integrado de la roya del cafeto, como principal enfermedad de importancia económica, y de la muerte descendente como enfermedad emergente de impacto local y potencial en algunas zonas, en este caso en los municipios de Pitalito y La Plata. Estos estudios se orientaron al establecimiento de alertas tempranas que contribuyan a la prevención, manejo y menor impacto de estos problemas fitosanitarios en la economía de la región y a la definición de las medidas de control fitosanitario ajustadas a las condiciones del departamento, que aporten a la sostenibilidad de la caficultura del Huila.

De esta manera, el proyecto permite articular los resultados a las estrategias de adaptación que fortalecerán la caficultura en condiciones de variabilidad climática.





Stephan Andrés Salazar Arias

*Asistente de Investigación
Disciplina de Agroclimatología*

Audberto Quiroga Mosquera

*Analista Sistemas de Información
Geográfica
Disciplina de TIC*

Jonnier Alejandro Hoyos Arango

*Auxiliar de Investigación
Disciplina de Agroclimatología*

Juan Carlos García López

*Investigador Científico II
Disciplina de Agroclimatología
Cenicafé*





Zonas Agroecológicas

**“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”**





El departamento del Huila contribuye en el desarrollo de la economía nacional, principalmente en el sector agrario, al ser el primer productor de café a nivel nacional, poseer el primer lugar en extensión sembrada, gozar de reconocimiento que denota la calidad de sus granos y el esfuerzo permanente que realizan los productores y la institucionalidad para cosechar los mejores granos que privilegian su esfuerzo y voluntad.

Este libro presenta los resultados más relevantes de la actividad Zonificación Agroecológica para la caficultura del departamento del Huila, enmarcada en el objetivo “Ajustar el modelo productivo de Huila hacia una caficultura adaptada climáticamente”; explica las características climáticas, la subdivisión orográfica y física que presenta la zona cafetera en el departamento del Huila, responde a preguntas ¿Por qué se zonifica? ¿Cuál es el objetivo principal de la zonificación? ¿Qué soluciones genera la actividad?, y presenta los indicadores climáticos más relevantes a nivel de finca para la zona cafetera en el departamento del Huila.

Las respuestas a las anteriores consultas se soportan en los resultados de esta investigación y le permite al Servicio de Extensión y a los caficultores obtener un conocimiento de las variables agroclimáticas integradas en su predio bajo técnicas de agricultura de precisión, e identificar los riesgos y vulnerabilidades del sistema de producción. Además, apoyan las estrategias que se apliquen al sistema productivo cafetero con el objetivo de ajustar las recomendaciones, como soporte para la toma de decisiones que beneficien directamente la economía del productor.

Conceptos sobre zonificación

La zonificación, definida por la Real Academia Española (2018), es la división de un terreno en sub-zonas. Además, según Ometto (1981) citado por Eugenio *et al.* (2013), la zonificación es una técnica para identificar las regiones más favorables en el desarrollo de un cultivo que, cuando las condiciones edafoclimáticas y económicas son adecuadas, puede **proporcionar el desarrollo significativo de las especies**.

Para la FAO el concepto de **zonificación agroecológica** (1997) se define como “aquellas zonas que tienen **combinaciones similares de clima y características de suelo, y el mismo potencial biofísico** para la producción agrícola”.



La zonificación agroecológica se concibe como “el espacio geográfico que presenta regularidad en su variabilidad edáfica, climática y orográfica, con una respuesta similar en su potencial agrícola”.

¿Para qué sirven?

Las zonas agroecológicas diferencian las condiciones que determinan la respuesta en producción de los cultivos. Algunas de estas se generan a partir del rango de adaptación del cultivo, explicado principalmente por variables como: la temperatura, la precipitación y el brillo solar. Es importante anotar que, en condiciones locales estos elementos se relacionan con otros factores como las características de los suelos, las condiciones de manejo y los aspectos socio-económicos del cultivo.

Entre sus principales funciones están:

- **Clasificar por aptitud** en función de indicadores clave del cultivo como la precipitación acumulada anual, los grados día de acumulación térmica por etapa fenológica, la disponibilidad de horas de brillo solar anual, los períodos definidos de déficit hídrico por etapa de cultivo y las limitaciones por fuertes pendientes.
- **Determinar las condiciones que favorecen o limitan al cultivo** en una zona, y a partir de ellas realizar recomendaciones más indicadas sobre los sistemas de producción.
- **Regular la delimitación orográfica y geográfica del territorio** para la siembra de los cultivos, ya que se determinan las fronteras de expansión como un mecanismo de ordenamiento del territorio.

Zonificación agroecológica para café

Introducción al concepto de Zonificación Agroecológica (ZAE) para el cultivo de Café. El concepto de zonificación aplicado al cultivo de café se referencia en el estudio de Gómez *et al.* (1991) quienes definieron el Ecotopo Cafetero como: “una región delimitada geográficamente, con condiciones de clima, suelo y relieve donde se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café”, la diferencia con el estudio que se presenta para el Huila corresponde a la circunscripción, ya que corresponde a “una región no delimitada geográficamente, con condiciones de clima, suelo y relieve donde se obtiene una respuesta biológica similar del cultivo del café”.



Importante: La zonificación agroecológica se sustenta en el uso de la información espacial disponible, como la meteorológica y climática¹, los estudios físicos y químicos de suelo² y la estructura productiva de los lotes cafeteros³.

Metodología de zonificación agroecológica para el departamento del Huila. En la metodología de zonificación agroecológica se empleó información edáfica, climática y orográfica, a partir de la cual se generó una base de datos robusta, a la que se integraron rutinas de análisis y procesos de interpolación. Se generaron indicadores agroclimáticos, edáficos y orográficos, los cuales se asociaron a tres etapas fenológicas del cultivo (Figuras 1 y 2): floración, formación del fruto y acumulación de materia seca y cosecha;

¹Redes meteorológicas de la FNC e IDEAM

²Estudios básicos FNC, IGAC, Secretaría de Agricultura del Huila

³Sistema de Información Cafetera (SIC@).

las etapas describen los procesos fisiológicos que anteceden la floración y el desarrollo del fruto, atribuibles a un evento de máxima floración y que determina el pico de cosecha principal del cultivo. Se consolidó información de las variables agroclimáticas, para tres escenarios de variabilidad climática: años de condiciones climáticas extremas El Niño y La Niña, y un promedio histórico multianual. Adicionalmente, se obtuvo información de la estructura productiva de la zona cafetera del departamento del Huila (SIC@, 2018)⁴.

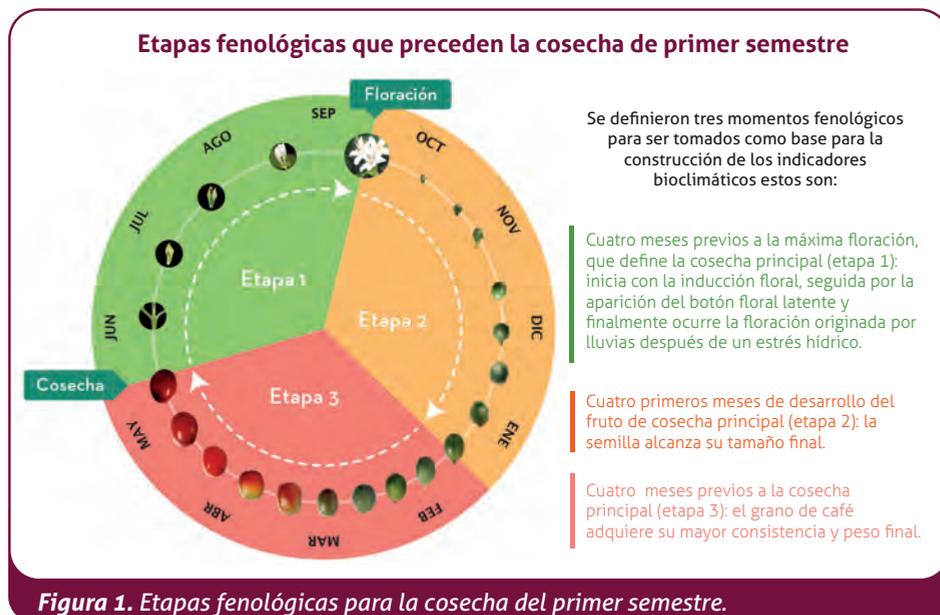


Figura 1. Etapas fenológicas para la cosecha del primer semestre.

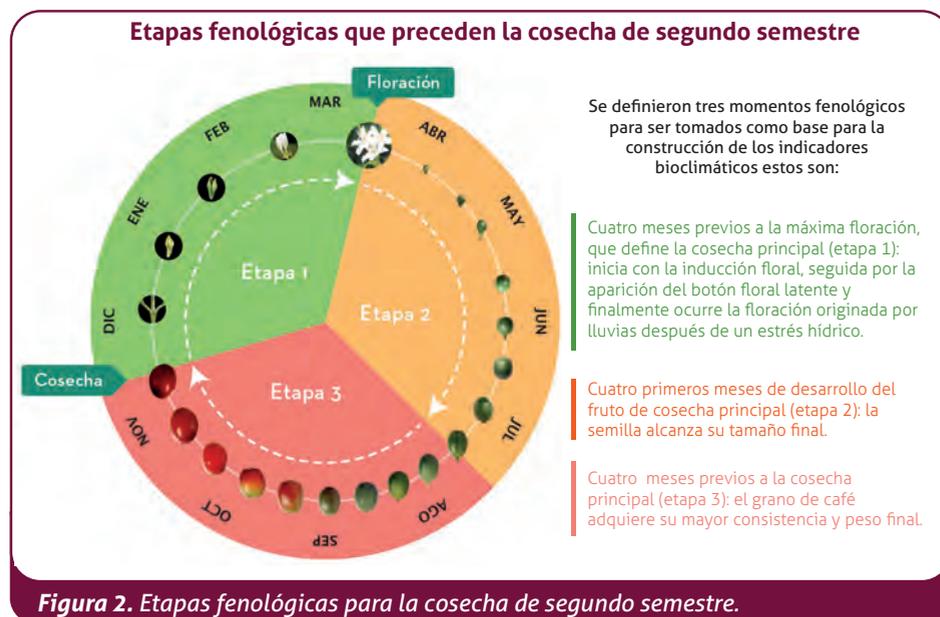


Figura 2. Etapas fenológicas para la cosecha de segundo semestre.

⁴Sistema de Información Cafetera, 2017. El SICA está conformado por una base de datos georeferenciada que le permite a la institucionalidad cafetera acceder, a través de tecnología Web, a consultar, analizar y visualizar la información básica de los caficultores, fincas y lotes cafeteros.

Con el uso del software "R-Studio"⁵ se generó una rutina de programación que permitió agrupar las diferentes zonas de acuerdo a condiciones de similitud y pesos de las variables, en un análisis multivariado por escenarios multianual promedio histórico (Neutro), El Niño y La Niña. Como resultado se obtuvo una versión de la Zonificación Agroecológica (ZAE) para el departamento del Huila⁶.

Valores de referencia de las variables climáticas e indicadores agroclimáticos para el cultivo de café. La fenología de los cultivos estudia las fases de desarrollo en función de su reacción a las condiciones ambientales, para ello los índices permiten estimar la cantidad de cambio durante un intervalo de tiempo, por medio de relaciones entre uno o más parámetros climáticos.

Un índice bioclimático tiene aplicación en la determinación de las condiciones que prevalecen antes de un evento fisiológico y permiten evaluar la duración del ciclo vegetativo y productivo del cultivo y su relación con las condiciones genéticas y de manejo. Se constituyen en herramientas clave de planificación



Un indicador agroclimático cafetero puede definirse como la relación entre índices que miden el comportamiento climático asociados a la fenología del cultivo de café.

Los valores de referencia son los principales indicadores de éxito en el cultivo de café que satisfacen la necesidad del cultivo:

Precipitación. Para la precipitación se requieren por encima de 1.400 mm año, con una distribución adecuada según la etapa fisiológica. Los valores críticos por exceso se observan a partir de 2.900 mm (Peña, Ramírez, Valencia y Jaramillo, 2012).

Brillo solar. Con base en los análisis de la insolación o brillo solar obtenidos de heliógrafos de la red meteorológica de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), el valor promedio para la zona cafetera colombiana se calculó en 4,5 horas/día. Para asegurar más del 50% del potencial productivo de una zona se requieren más de 1.300 horas/año y su condición óptima se establece por encima de 1.700 horas/año (Ramírez, Jaramillo y Arcila, 2013).

Temperatura. Los rangos térmicos de ubicación del cultivo en Colombia se relacionan con la altitud, la cual predomina entre los 1.200 y 1.900 m, situación que determina una prevalencia de la temperatura media del aire, entre 17 y 23°C, con óptimo entre 20 y 21°C (Ramírez *et al.*, 2013).

Con la información de las temperaturas máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) y media (T_{media}) mensuales, y con la temperatura base inferior⁷ (T_{base}) de 10°C, determinada por Jaramillo y Guzmán, (1984), para el desarrollo del café en Colombia, se generaron los índices de amplitud térmica (AT) o gradiente térmico (T_{máx}-T_{mín}) y el de tiempo térmico (TT) o grados día (T_{media}-T_{base}). Para cada una de las tres etapas fisiológicas propuestas

⁵RStudio, Version 0.99.903 © 2009-2018 RStudio, Inc.

⁶FNC Cenicafé; CT&I SGR Huila. (2018). Definición de las zonas agroecológicas para la caficultura del Huila y ajustes en el sistema productivo. Chinchina: Cenicafé.

⁷Temperatura por debajo de la cual el crecimiento es nulo.

se acumuló el TT (Ramírez *et al.*, 2010a), generando los acumulados térmicos por etapa (García, 2013). Ramírez (2011) define la mínima acumulación térmica con 1.100 grados para la etapa de floración del café. Según Jaramillo y Guzmán (1984), son necesarios 2.500 grados acumulados entre la floración y la cosecha (etapa reproductiva). Los rangos de los valores de cada indicador por etapa fenológica se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Rangos agroclimáticos y su clasificación.

| Indicadores Agroclimáticos | Unidad | Bajo | Adecuado | Alto |
|--|------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Precipitación anual | mm | Menor que 1.400 | Entre 1.400 y 2.900 | Mayor que 2.900 |
| Brillo solar | horas/año | Menor que 1.400 | Entre 1.400 y 1.800 | Mayor que 1.800 |
| Amplitud térmica: | °C | Menor que 8 | Entre 8 y 11 | Mayor que 11 |
| Tiempo térmico (prefloración) | Grados-día | Menor que 1.000 | Entre 1.000 y 1.400 | Mayor que 1.400 |
| Tiempo térmico (desarrollo del fruto) | Grados-día | Menor que 2.200 | Entre 2.200 y 2.800 | Mayor que 2.800 |
| Déficit hídrico (prefloración) | Días | Menor que 20 | Entre 20 y 80 | Mayor que 80 |
| Déficit hídrico (desarrollo del fruto) | Días | Igual a 0 | Entre 0 y 90 | Mayor que 90 |
| Pendiente del terreno | Grados | Menor que 10 | Entre 10 y 40 | Mayor 40 |

Entorno de las zonas agroecológicas cafeteras (ZAE)

Zona cafetera para el departamento del Huila

El departamento del Huila hace parte de la región Sur del área Andina, está conformado por 37 municipios, ubicados geográficamente entre las cordilleras Oriental y Central, con un área de 19.900 km² que representan el 1,8% del territorio nacional (Huila, 2017). A su vez, el departamento del Huila cuenta con 35 municipios cafeteros y un total de 147.097 ha y 82.366 caficultores cedulados con 99.731 fincas (SIC@, 2018).

Zonas Agroecológicas cafeteras (ZAE) identificadas en el departamento del Huila. Las rutinas de análisis e interpolaciones descritas en el desarrollo metodológico de la zonificación agroecológica cafetera, generaron una base de datos de elementos meteorológicos, indicadores agroclimáticos y variables biofísicas, que dieron origen a seis agrupamientos ajustados en su distribución espacial, cada uno con similitud en sus condiciones climáticas y biofísicas (Figura 3).

De manera general, los sitios donde se cultiva café en el departamento del Huila presentan baja oferta pluviométrica anual o esta se encuentra mal distribuida, y la insolación u horas de brillo solar anual no compensan las necesidades requeridas por el cultivo; sin embargo, la nubosidad prevalente disminuye la pérdida evapotranspirativa, lo cual mitiga efectos adversos por la baja pluviosidad.



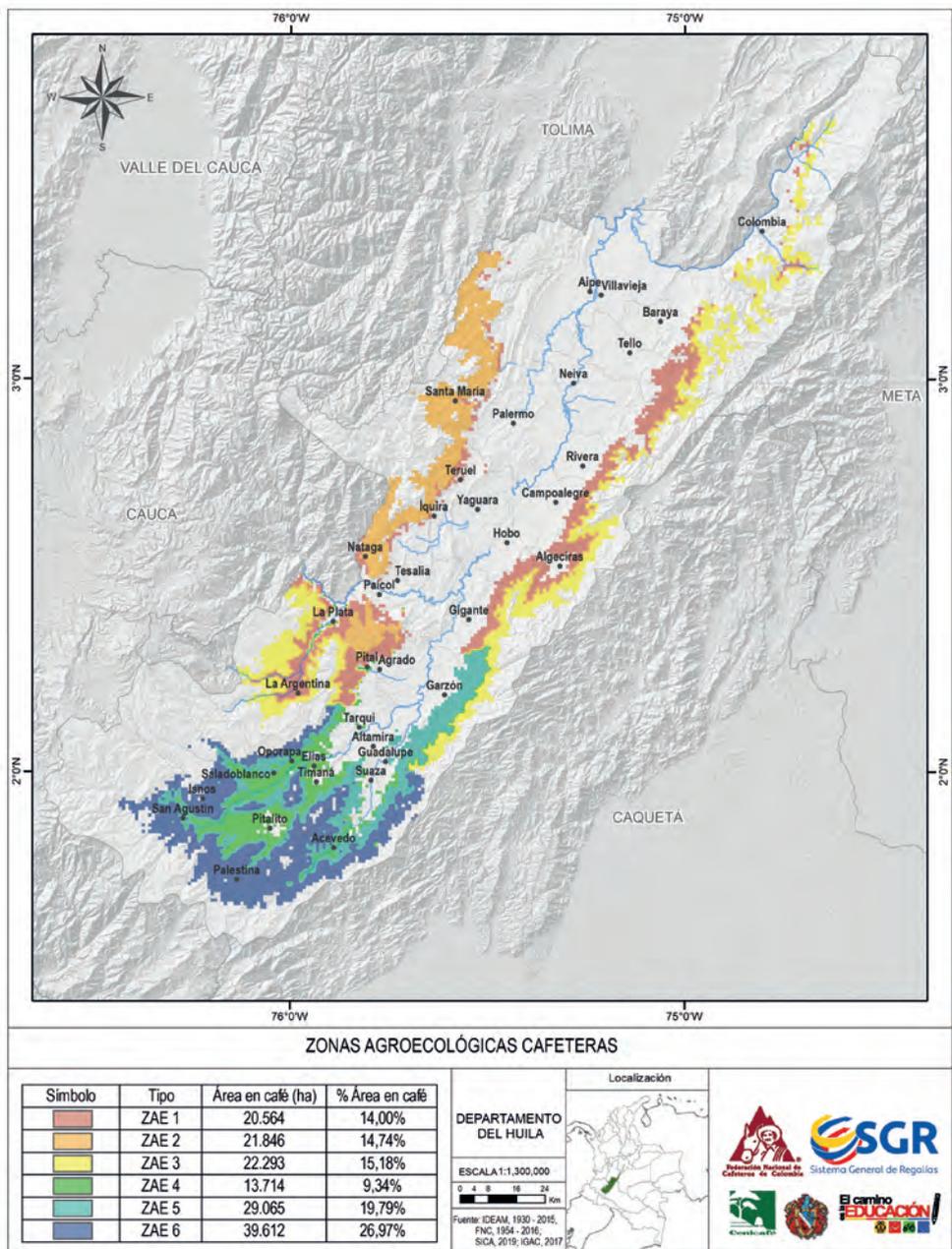


Figura 3. Mapa de zonificación agroecológica.

Las ZAE 1, 2 y 3 están ubicadas geográficamente en el área Centro Norte del departamento del Huila y su cosecha principal se presenta en el primer semestre del año. La ZAE1 (Figura 4) se ubica en la zona Norte del departamento del Huila, con un promedio altitudinal de 1.477 m (Tabla 2). La ZAE2 se encuentra geográficamente sobre

la cordillera Central (Figura 5), presenta condiciones aptas de precipitación (cantidad y distribución) y brillo solar. La ZAE3 se encuentra ubicada en las dos cordilleras (Figura 6), se caracteriza por ser la zona con mayor altitud en sus cafetales y presentar la menor cantidad de días de déficit hídrico durante la floración (Tabla 3).

Las ZAE 4, 5 y 6, pertenecen a la zona Centro Sur del departamento del Huila, hacen parte del Macizo Colombiano, se desagregan sobre ambas cordilleras en límites con los municipios de Gigante sobre la cordillera Oriental y El Pital sobre la cordillera Central. La ZAE4 se ubica altitudinalmente en la parte baja (Tabla 3 y Figura 7) y con menos área en café en el departamento (Tabla 3). La ZAE5 se ubica altitudinalmente en la parte media de la montaña (Tabla 3 y Figura 8). La ZAE6 (Figura 9) presenta la mayor área en café (Tabla 3), con adecuadas condiciones de precipitación y baja acumulación de horas de brillo solar (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de los indicadores agroclimáticos por zona agroecológica.

| ZAE | Altitud (m) | Lluvia anual (mm) | Déficit hídrico floración (días) | Déficit hídrico fruto (días) | Brillo solar anual (horas) | Tiempo térmico floración (grados-día) | Tiempo térmico fruto (grados-día) | Materia orgánica (%) | Pendiente terreno (grados) |
|-----|-------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 1.477 | 1.432 | 94 | 76 | 1.438 | 1.244 | 2.547 | 6,3 | 51 |
| 2 | 1.695 | 1.758 | 110 | 24 | 1.374 | 1.043 | 2.143 | 7,4 | 50 |
| 3 | 1.743 | 1.675 | 50 | 53 | 1.302 | 1.014 | 2.067 | 6,7 | 51 |
| 4 | 1.316 | 1.351 | 82 | 89 | 1.551 | 1.428 | 2.777 | 5,9 | 37 |
| 5 | 1.461 | 1.508 | 71 | 59 | 1.486 | 1.302 | 2.530 | 5,7 | 43 |
| 6 | 1.644 | 1.977 | 56 | 5 | 1.466 | 1.167 | 2.234 | 7,3 | 46 |

Tabla 3. Área representada por cada zona agroecológica cafetera en el departamento del Huila.

| ZAE | Total (ha) | % |
|--------------|----------------|------------|
| 1 | 20.564 | 14,0 |
| 2 | 21.846 | 14,7 |
| 3 | 22.293 | 15,2 |
| 4 | 13.714 | 9,3 |
| 5 | 29.065 | 19,8 |
| 6 | 39.612 | 27,0 |
| Total | 147.094 | 100 |

Descripción de las zonas agroecológicas cafeteras

Zona Agroecológica 1

Es la zona con una media de 1.477 m, ubicada sobre las cordilleras Central y Oriental, en los municipios de La Argentina, Tarqui, El Pital, El Agrado, La Plata, Paicol, Gigante, Hobo, Algeciras, Campoalegre, Rivera, Tello, Baraya, Colombia, Tesalia, Nátaga, Íquira, Teruel, Santa María, Palermo, Neiva y Aipe. Su cosecha principal se presenta en el primer semestre del año, en los meses de mayo y junio (Figura 4).

El sistema productivo de la ZAE1 posee 20.564 ha, correspondientes al 14% del área total sembrada en el departamento, donde los municipios que presentan la mayor cantidad de área sembrada son La Plata, El Pital y Tello. El sistema presenta el 82% en variedades resistentes a la roya del cafeto, el 85% de los lotes están sembrados a libre exposición solar y el 55% de los lotes presentan densidades de siembra superiores a 5.000 plantas por hectárea.

El 80% de los predios presenta entre 1.300 y 1.600 horas de brillo solar por año, precipitación entre 1.200 y 1.600 mm anuales, el tiempo térmico en la etapa de formación de fruto presenta de 2.200 a 2.800 grados-día. Las condiciones de la amplitud térmica presentan una media de 8,2 grados y la pendiente de la zona se encuentra entre los 30 y 70 grados.



Agroclimáticamente la zona agroecológica 1 presenta restricciones por distribución de la lluvia y alta oferta térmica.

Las condiciones de déficit hídrico en la etapa de floración se encuentran en un rango alto con 94 días y el déficit hídrico para las etapas de desarrollo de fruto en un rango adecuado con 76 días. Los grados de acumulación térmica para la etapa de floración se encuentran en 1.243 grados-día y en el desarrollo de fruto 2.544 grados-día, con un rango adecuado en su calificación.

La precipitación anual acumulada de la ZAE1, en escenarios de variabilidad, presenta una reducción de 14% en eventos El Niño y un aumento del 40% en escenarios La Niña. El brillo solar acumulado anual aumenta en un 5% en El Niño mientras en La Niña disminuye en un 11%, sobre el multianual histórico.

Las unidades de suelo más representativas de la ZAE1 presentan niveles de retención de humedad entre bajos y medios (20 a 30 mm) y bajos contenidos de materia orgánica, con fuertes pendientes, como los de la Unidad San Simón.



Importante: Por encontrarse en zonas bajas de la zona Centro y Norte del Huila, con regímenes de lluvia mal distribuidos y prevalencia de altas temperaturas, en la ZAE 1 los cultivos de café deben establecerse con acompañamiento de árboles forestales en sistemas agroforestales. Adicionalmente, deben respetarse las épocas de siembra y planificar el manejo de arvenses, la fertilización, plagas y enfermedades y regulación del sombrío. Es clave el establecimiento de variedades resistentes a la roya del cafeto en densidades mayores o iguales a 7.000 árboles/ha.

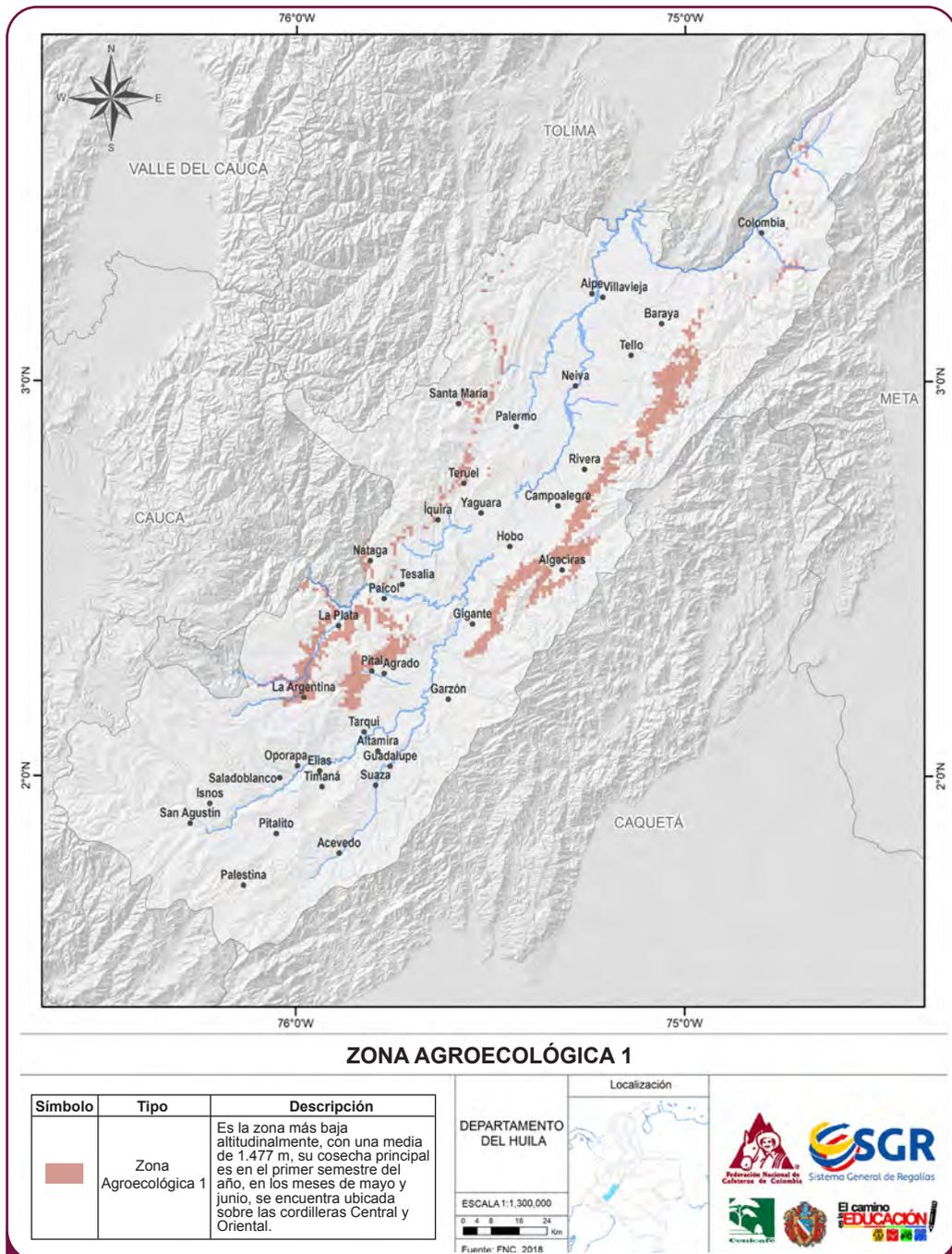


Figura 4. Zona Agroecológica 1.

Zona Agroecológica 2

Ubicada geográficamente sobre el flanco Oriental de la cordillera Central. Esta zona se establece como la zona intermedia de la montaña, con una media altitudinal de 1.695 m, está ubicada espacialmente sobre los municipios de Santa María, Teruel, Neiva, Íquira, Palermo, Nataga, El Pital, Paicol, La Plata, Aipe, Tesalia, El Agrado y Suaza. Presenta su cosecha principal en el primer semestre del año, entre los meses de mayo y junio (Figura 5).

En la zona se encuentran sembradas 21.846 ha con café, que corresponden al 14,7% del total del departamento, los principales municipios que la constituyen son Santa María, Teruel, Neiva e Íquira. Los lotes cafeteros de la zona se encuentran entre los 1.400 a 1.900 m de altitud. El sistema productivo presenta el 79% en variedades resistentes a la roya del cafeto, la densidad de siembra fluctúa entre 4.000 y 7.000 plantas/ha, y el 88% de los lotes están sembrados a libre exposición solar.

El brillo solar de la zona se encuentra entre las 1.600 y 1.800 horas por año, el régimen de lluvias se encuentra entre los 1.600 y 1.900 mm anuales, la acumulación térmica diaria en el desarrollo de fruto está entre los 1.900 y 2.600 grados. El promedio de amplitud térmica de la zona es de 7,8 grados y la pendiente del terreno está entre los 30 y 70 grados.



El análisis climático multianual histórico promedio de la ZAE2 presenta condiciones adecuadas de precipitación, y un déficit hídrico alto para la prefloración, lo cual es adecuado para el cultivo de café.

En el escenario El Niño la precipitación presenta una reducción del 23% sobre el promedio multianual histórico y un aumento del 30% en el escenario La Niña. El brillo solar presenta un aumento del 6% en El Niño sobre el promedio multianual histórico y en La Niña se genera una reducción del 18%.

La unidad de suelo San Simón es la más característica, la cual presenta niveles medios de retención de humedad y bajos contenidos de materia orgánica, a diferencia de la unidad El Socorro, presente en 15% del área, con altos contenidos de materia orgánica y buena retención de humedad.



Importante: Ubicada sobre la parte media de la montaña, la zona presenta limitaciones por sus fuertes pendientes, con predominio de la unidad de suelo San Simón. Es necesario que los cultivos en la ZAE2 se establezcan en barreras y a través de la pendiente. El establecimiento debe acompañarse con sombrío transitorio, el cual debe permanecer en los primeros 24 meses de cultivo.



Deben realizarse prácticas de manejo que favorezcan las coberturas vivas en calles y cobertura muerta en los platos, manejo de nutrición y aplicación de enmiendas soportada en resultados de análisis de suelo. Las densidades de variedades resistentes a la roya del cafeto deben ajustarse entre 8.000 y 10.000 plantas por hectárea, en arreglos espaciales con calles amplias, por la limitación que posee la zona de bajo brillo solar.

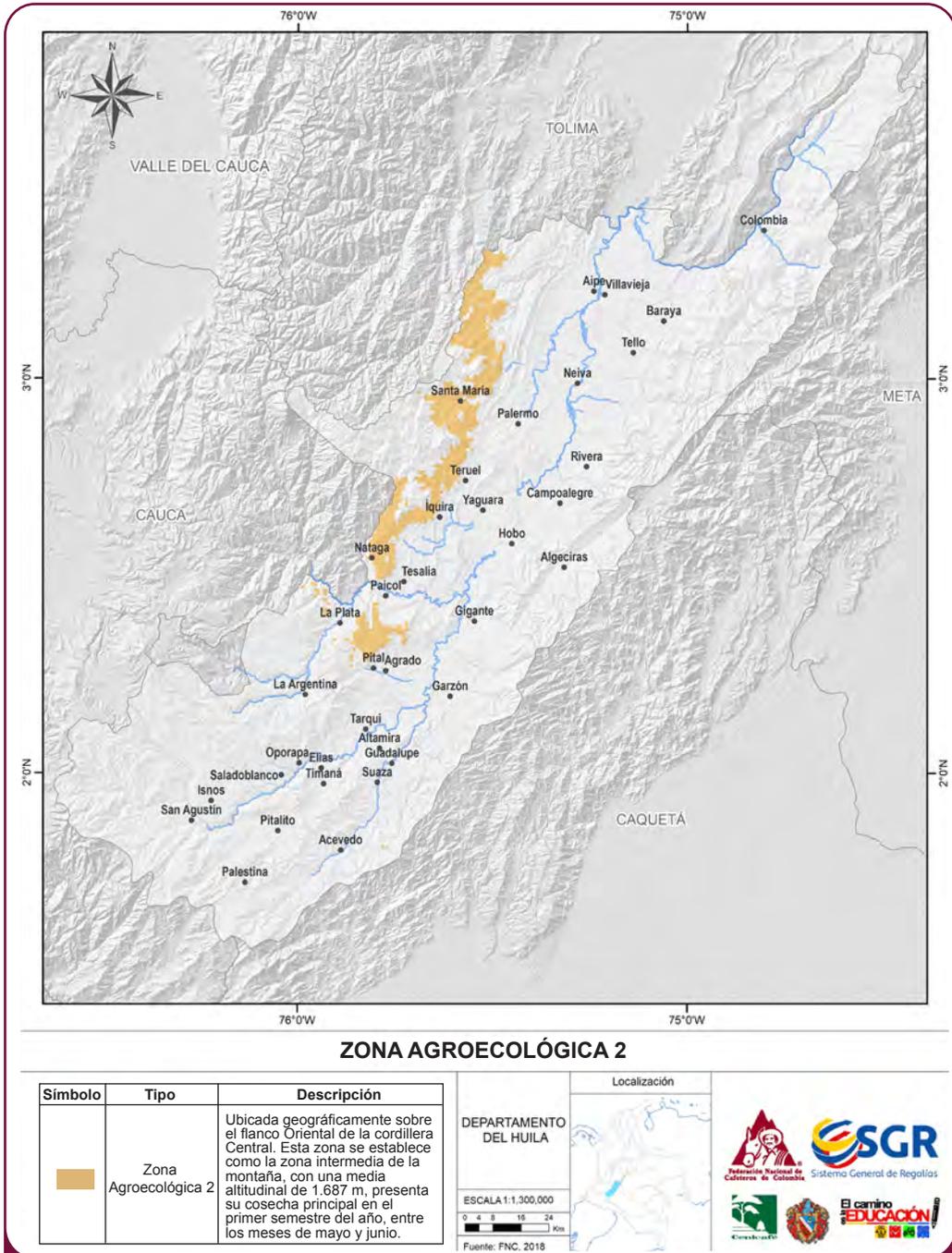


Figura 5. Zona Agroecológica 2.

Zona Agroecológica 3

Esta zona está ubicada geográficamente sobre las cordilleras Central y Oriental, altitudinalmente es la más alta de la zona Norte del departamento, con una media de 1.743 m, y comprende parte de los municipios de La Plata, Algeciras, Garzón, Gigante, Colombia, La Argentina, Tello, El Pital, Guadalupe, Baraya, Neiva, Campoalegre, Tarqui, Hobo y Rivera. Presenta su cosecha principal en el primer semestre del año, entre los meses de mayo y junio (Figura 6).

El área total de la zona es de 22.293 ha y el 80% de sus predios están ubicados por encima de los 1.600 m de altitud. El 66% del área se encuentra sembrada en variedades resistentes a la roya del cafeto, los cultivos presentan una densidad de siembra entre los 4.000 a 6.000 árboles por hectárea y el 95% de los lotes se encuentran a libre exposición solar. Los municipios de La Plata, Algeciras y Garzón poseen más del 56% del total del área sembrada de la zona.



La ZAE3 presenta condiciones adecuadas de precipitación en cantidad y distribución y baja oferta del brillo solar.

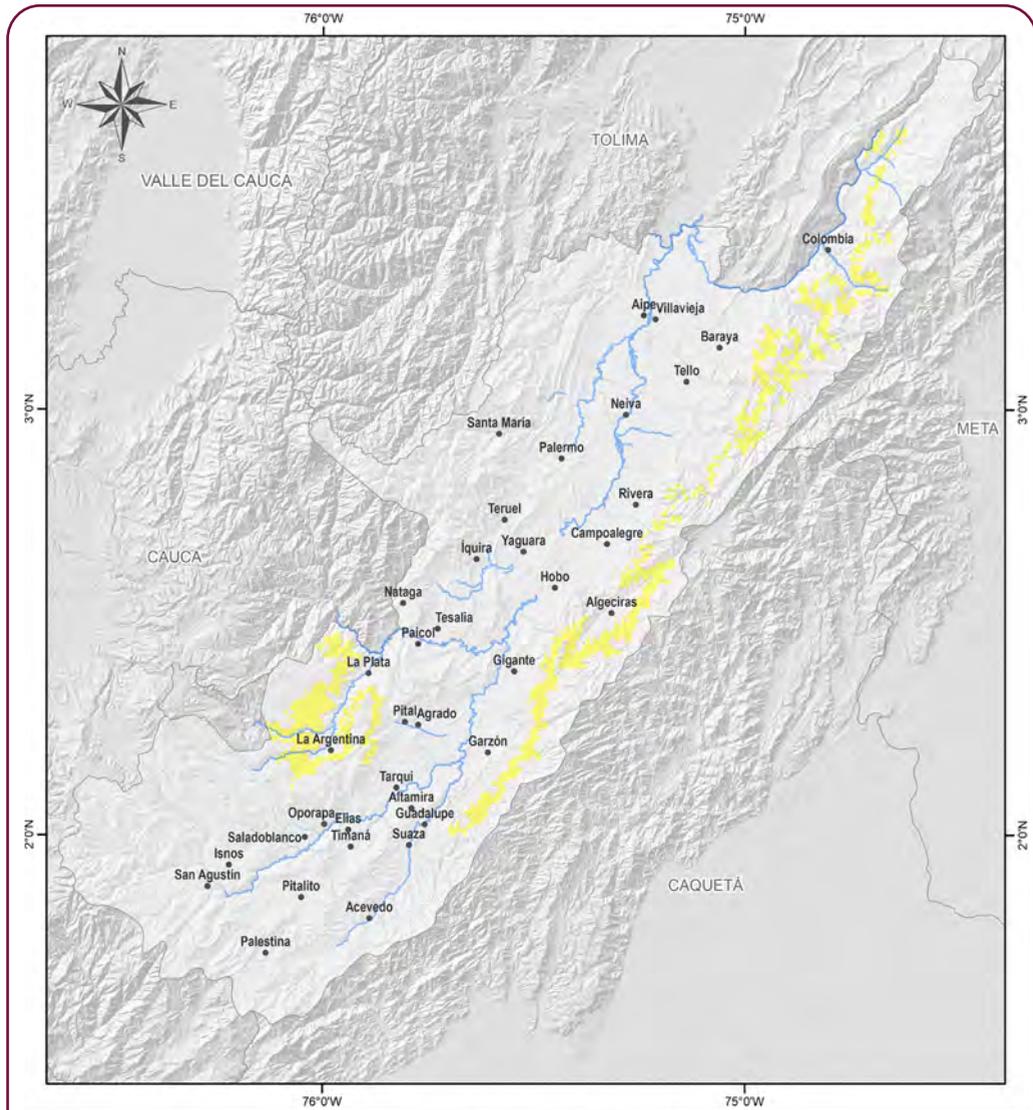
La zona presenta una reducción de lluvias de un 15% en escenarios El Niño sobre el multianual histórico promedio, y un aumento del 14% en escenarios La Niña. El brillo solar presenta un aumento del 6% en El Niño, mientras que en La Niña se reduce en un 17%, sobre el multianual histórico promedio.

En el 45% del área de la ZAE3 está presente la unidad de suelo El Recreo, de baja retención de humedad.



Importante: Por encontrarse en zonas de mayor altitud, se limita la disponibilidad energética y térmica. Lo anterior define un patrón de crecimiento más lento, con alargamiento de los ciclos de cultivo y bajo potencial productivo. En zonas altas se aumenta la prevalencia de fuertes vientos que afectan el cultivo y, por el daño mecánico que se produce, se incrementa la presencia de muerte descendente.

Deben planificarse los cultivos en las máximas densidades de siembra, 10.000 plantas/ha, con delimitación por árboles como barrera rompevientos. Deben realizarse las siembras con arreglos en calles amplias para favorecer la acumulación térmica y realizar el manejo de las barreras, de tal forma que no limiten la radiación.



ZONA AGROECOLÓGICA 3

| Símbolo | Tipo | Descripción |
|---|----------------------|---|
|  | Zona Agroecológica 3 | Esta zona está ubicada geográficamente sobre las cordilleras Central y Oriental, y altitudinalmente es la más alta de la zona Norte del departamento, con una media de 1.744 m. Presenta su cosecha principal en el primer semestre del año, entre los meses de mayo y junio. |

DEPARTAMENTO DEL HUILA

ESCALA 1:1,300,000

0 4 8 16 24 Km

Fuente: FNC, 2018



Localización

El camino a la EDUCACIÓN

Figura 6. Zona Agroecológica 3.

Zona Agroecológica 4

La ZAE4 se constituye como la zona más baja de la zona Sur del departamento del Huila, con una altitud media de 1.316 m, abarca la zona baja del Macizo Colombiano sobre los municipios de Pitalito, Timaná, Saladoblanco, Tarqui, Isnos, Acevedo, San Agustín, Oporapa, Elías, Suaza, Palestina, Guadalupe, La Plata, El Pital, Altamira, el Agrado y Paicol. Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año, entre los meses de octubre y noviembre (Figura 7).

La zona posee 13.714 ha, el sistema productivo presenta el 78% de los predios por debajo de los 1.400 m de altitud. El 66% de los predios poseen variedades resistentes a la roya del cafeto, el 48% de los lotes presentan densidades de siembra superiores a las 5.000 plantas por hectárea y el 70% del total está sembrado a libre exposición solar.



El brillo solar para el 80% de los predios presenta entre 1.500 y 1.600 horas anuales, la precipitación se encuentra entre los 1.100 y 1.700 mm por año, mal distribuidos, la acumulación térmica diaria en la etapa de desarrollo de fruto está entre los 2.600 y 3.000 grados-día. El promedio de amplitud térmica anual es de 10 grados.

En escenarios El Niño la lluvia presenta una reducción del 18% y en La Niña se evidencia un aumento del 25% en el acumulado, frente al multianual promedio histórico. El brillo solar de la ZAE4 se encuentra en una condición adecuada en el multianual promedio histórico, para el escenario El Niño presenta un aumento del 10% respecto al histórico, sin cambios en eventos La Niña.

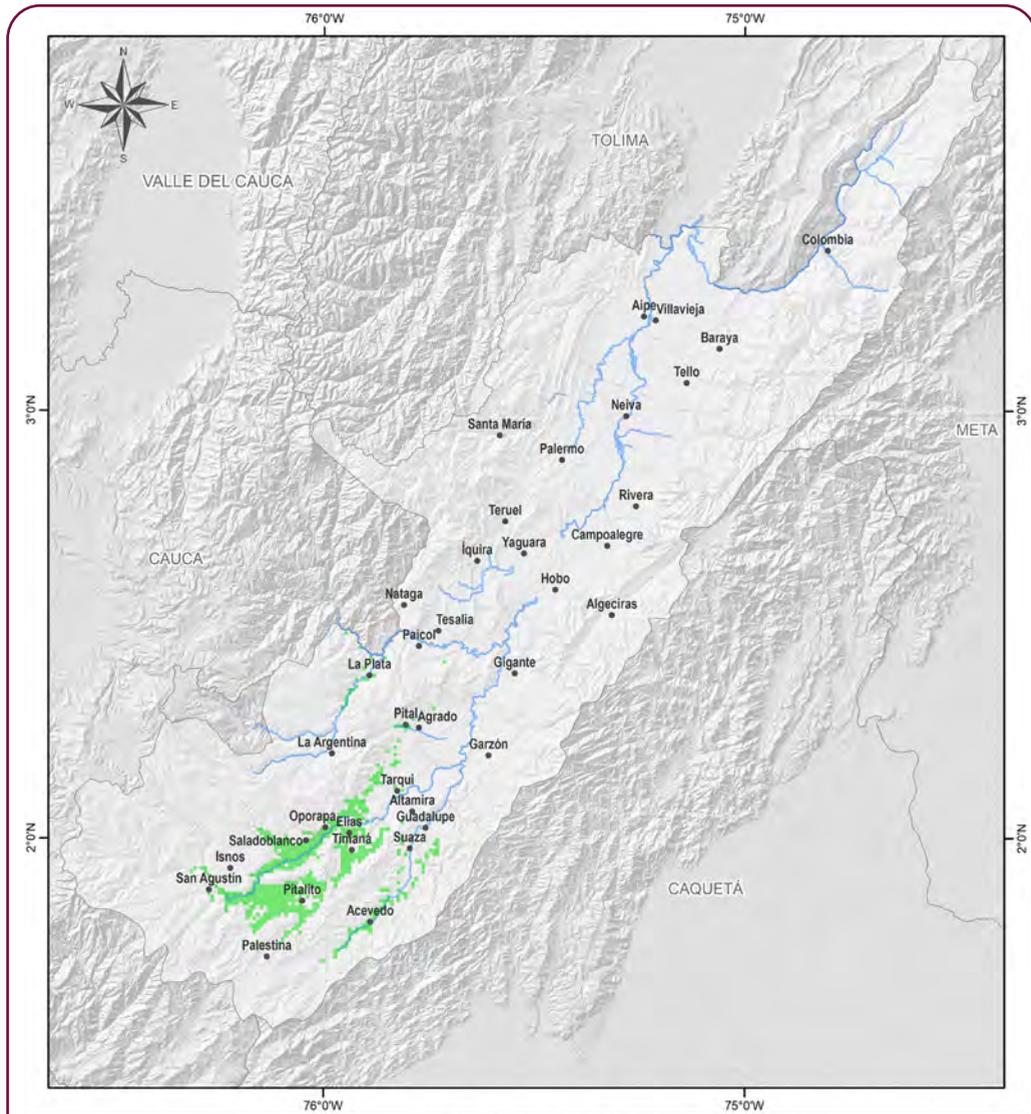
Las unidades de suelo más representativas como Saladoblanco, Guadalupe, Siberia y Laboyos, se encuentran con rangos entre los 20 y 30 mm de capacidad de almacenamiento de agua y bajos contenidos de materia orgánica.



Importante: Por su ubicación en zonas altitudinalmente bajas de influencia del Macizo Colombiano, la ZAE4 presenta oferta térmica alta y pluviométrica baja o con deficiente distribución.

En la zona deben prevalecer cultivos de café en sistemas agroforestales, especialmente durante el establecimiento de los cultivos. Por la presencia de unidades con baja retención de humedad, los árboles que acompañen el sistema deben proporcionar hojarasca, con buena respuesta a las podas y raleo.

Las renovaciones deben realizarse con variedades resistentes a la roya del cafeto, en densidades de 7.000 plantas/ha. Deben atenderse las recomendaciones de manejo, basadas en el conocimiento de los períodos húmedos y secos.



ZONA AGROECOLÓGICA 4

| Símbolo | Tipo | Descripción |
|---|----------------------|---|
|  | Zona Agroecológica 4 | Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año, entre los meses de octubre y noviembre, se constituye como la zona más baja de la zona Sur del departamento del Huila, con una altitud media de 1.317 m. Abarca la zona baja del Macizo Colombiano. |

DEPARTAMENTO DEL HUILA

ESCALA 1:1.300.000

0 4 8 16 24 Km

Fuente: FNC. 2018



Localización

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Sistema General de Regalías

El camino EDUCACIÓN

Figura 7. Zona Agroecológica 4.

Zona Agroecológica 5

Altitudinalmente se establece como la zona intermedia, con un promedio de 1.461 m, está ubicada geográficamente en la zona Sur del departamento, entre el flanco Oriental de la cordillera Central y el flanco Occidental de la cordillera Oriental, y se encuentra referenciada en los municipios de Garzón, Pitalito, Guadalupe, Suaza, Timaná, Acevedo, Saladoblanco, Oporapa, Tarqui, Gigante, Isnos, San Agustín, Elías, Altamira, Palestina y Tesalia. Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año entre los meses de octubre y noviembre (Figura 8).

La zona presenta 29.065 ha, el sistema productivo tiene el 65% en variedades resistentes a la roya del cafeto, el 49% presenta densidades superiores a las 6.000 plantas por hectárea y el 88% del total sembrado se encuentra a libre exposición solar.

El 80% de los predios presentan brillo solar entre 1.400 y 1.600 horas anuales, el régimen de la lluvia en el año se encuentra entre 1.400 y 1.800 mm y la acumulación térmica diaria para la formación de fruto está entre 2.300 y 2.800 grados. La media de la amplitud térmica de la zona es de 8,7 grados y la pendiente de la zona se encuentra entre los 30 y 70 grados.



Las condiciones de oferta de precipitación anual del multianual promedio histórico de la ZAE5 se encuentran en un rango adecuado, en escenario El Niño la zona presenta una reducción del 22% respecto al promedio y para La Niña presenta un aumento del 27% en el acumulado anual. El brillo solar acumulado anual, en escenarios El Niño y La Niña presenta un aumento del 8% y disminución del 6%, respectivamente, comparados con el multianual promedio histórico. La acumulación térmica en prefloración presenta condiciones adecuadas en los tres escenarios de variabilidad climática.

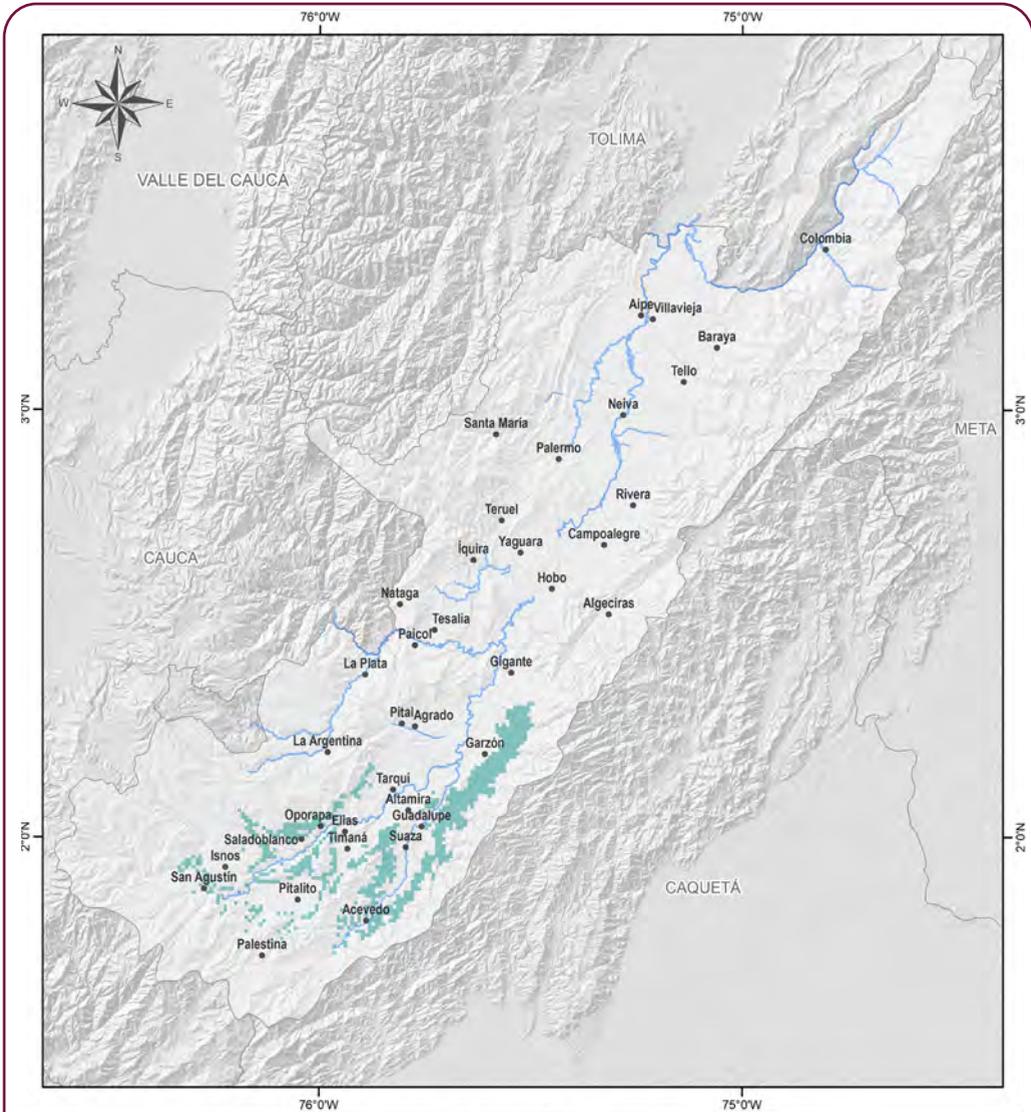
El Recreo se configura como la unidad de suelo más representativa, con el 31% del área de la ZAE5, junto con las unidades Saladoblanco, Guadalupe y La Cristalina agrupan aproximadamente el 70% del área de la zona.



Importante: Corresponde a la zona intermedia altitudinalmente. Por lo cual, las acciones de manejo deben propender por mantener la oferta sin limitación adicional del recurso, como siembra de variedades resistentes a la roya del cafeto en densidades altas (7.000 a 9.000 plantas/ha), dispuestas en arreglos con calles amplias, con dirección de los surcos de café de Oriente a Occidente, si la pendiente lo permite.



De requerirse sombra regulada, debe establecerse en barreras en la misma dirección de los surcos de café y manejarla para que no interfiera la radiación sobre el cultivo. Otras actividades de manejo como fertilización, manejo fitosanitario y manejo de arvenses, deben asumirse con criterios técnicos y de oportunidad. Deben respetarse las épocas oportunas de siembra y de manejo agronómico en general.



ZONA AGROECOLÓGICA 5

| Símbolo | Tipo | Descripción |
|---|----------------------|---|
|  | Zona Agroecológica 5 | Se establece como la zona intermedia, con un promedio de 1.459 m, está ubicada geográficamente en la zona Sur del departamento, entre el flanco Oriental de la cordillera Central y el flanco Occidental de la cordillera Oriental. Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año, entre los meses de octubre y noviembre. |

DEPARTAMENTO DEL HUILA

ESCALA 1:1.300.000

0 4 8 16 24 Km

Fuente: FNC. 2018

Localización






Figura 8. Zona Agroecológica 5.

Zona Agroecológica 6

Se configura como la zona más alta, con una media altitudinal de 1.644 m, el 58% de sus predios están ubicados por encima de 1.600 m, sobre toda el área del Macizo Colombiano, en la zona Sur del departamento del Huila, donde se destacan los municipios de Acevedo, Pitalito, Palestina y San Agustín, con el 73% del total del área cafetera de la zona. Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año entre los meses de octubre y noviembre (Figura 9).

El área total de la ZAE6 es de 39.612 ha, constituyéndose en la zona más representativa del departamento del Huila, su sistema productivo presenta el 60% en variedades resistentes a la roya del cafeto, la densidad de siembra está entre los 4.000 a 7.000 árboles por hectárea y el 94% de los lotes se encuentra en sistemas a libre exposición solar.

El 80% de los predios presentan las siguientes condiciones agroecológicas: entre 1.400 y 1.600 horas de brillo solar anual, precipitación entre 1.800 y 2.100 mm anuales y acumulación térmica entre los 2.000 y 2.600 grados- día. El promedio de la amplitud térmica es 8,7 grados

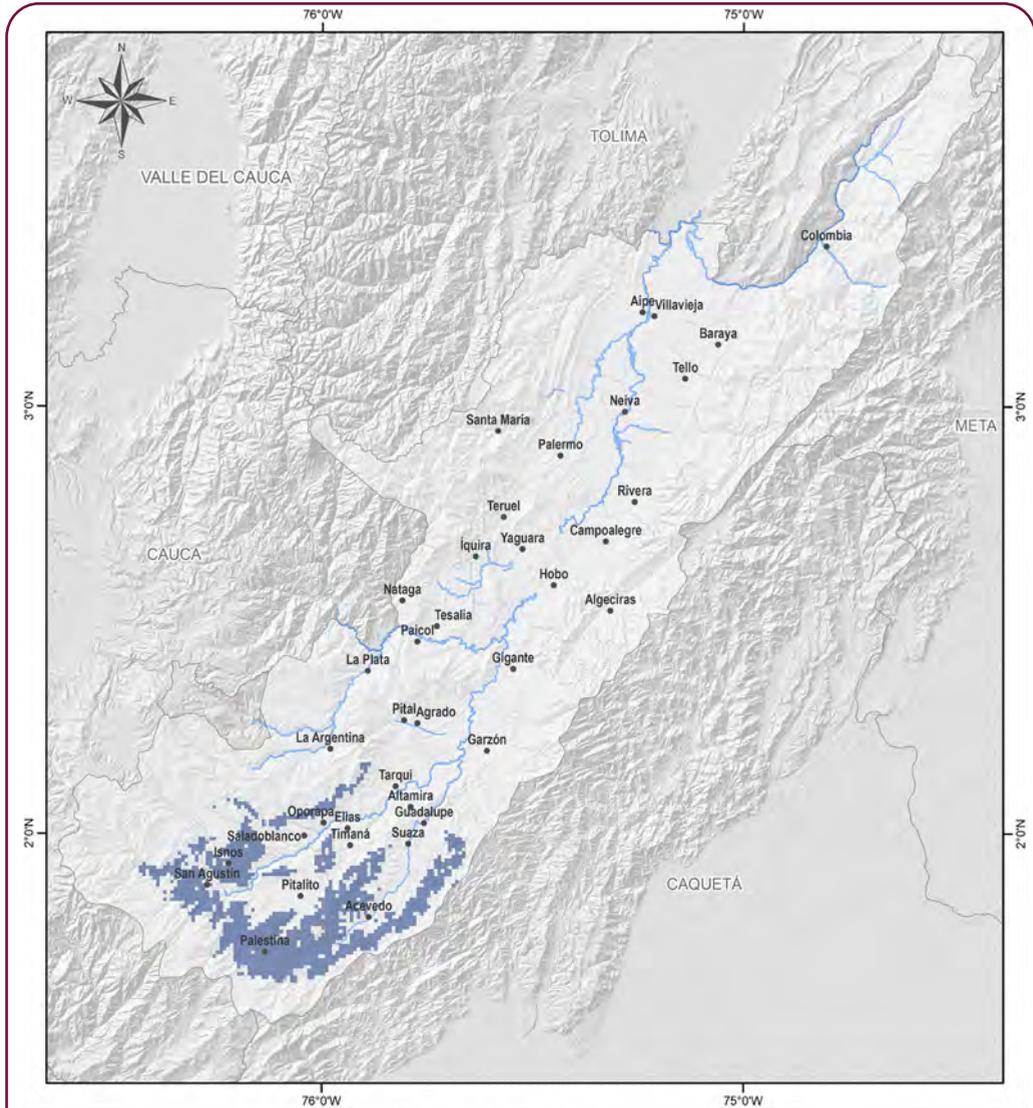
La lluvia en El Niño presenta una disminución del 31% y en La Niña un aumento del 10%, al compararlas con el multianual histórico promedio. La condición más crítica de déficit hídrico se presenta durante el desarrollo del fruto, en escenario El Niño, por efecto de la inadecuada distribución de la lluvia. El brillo solar acumulado anual en el multianual histórico promedio, se encuentra en una calificación adecuada, en escenarios El Niño presenta un aumento del 7% y en La Niña una disminución del 11%, sobre su multianual histórico promedio.

Las unidades de suelo Siberia, San Agustín y Guadalupe representan el 70% del área de la ZAE6, las condiciones de la capacidad de retención de humedad están entre los 20 y 30 mm.

Importante: Por ubicarse sobre el Macizo Colombiano, en regiones de mayor altitud, disminuye la oferta térmica. En la condición altitudinal se manifiestan alteraciones derivadas por fuertes vientos que influyen en los sistemas de cultivo, que deben tener árboles como barreras rompevientos, que no limiten la condición de baja oferta de brillo solar.

Se recomienda la siembra de variedades resistentes a la roya del cafeto, en la máxima densidad de 10.000 plantas/ha, en arreglos espaciales con calles amplias y con surcos en dirección Oriente-Occidente. En la zona, dado el predominio de altas pendientes, con algunas unidades de suelo con bajo contenido de materia orgánica, debe fomentarse las siembras al través de la pendiente y favorecer la presencia de arvenses en las calles.





ZONA AGROECOLÓGICA 6

| Símbolo | Tipo | Descripción |
|---|----------------------|--|
|  | Zona Agroecológica 6 | Se configura como la zona más alta, con una media altitudinal de 1.636 m, el 58% de sus predios están ubicados por encima de 1.600 m, sobre toda el área de Macizo Colombiano, en la zona Sur del departamento del Huila. Presenta su cosecha principal en el segundo semestre del año entre los meses de octubre y noviembre. |

DEPARTAMENTO DEL HUILA

ESCALA 1:1.300.000

0 4 8 16 24 km

Fuente: FNC, 2018

Localización




Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

Sistema General de Regalías

El camino EDUCACIÓN

Figura 9. Zona Agroecológica 6.

Aplicativo zonas agroecológicas

agroclima.cenicafe.org/geoportal

Este aplicativo disponible en la página de Agroclima de Cenicafe presenta la información climática y orográfica asociada al sistema productivo del cultivo de café para el departamento del Huila. Las figuras con el comportamiento mensual de la lluvia, brillo solar y temperaturas, se elaboraron a partir del análisis de las series climáticas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC).

Al ingresar al aplicativo, el usuario podrá digitar el código SIC@ de la finca o en el mapa seleccionar un punto sobre la zona cafetera.

"Consulta de variables Climáticas e Indicadores Agroclimáticos"

Después de acceder al aplicativo y seleccionar un punto o una finca, tendrá acceso a las siguientes opciones:

Información zona Agroecológica: le permitirá al usuario conocer, de manera general, la ubicación política, algunos aspectos del sistema de producción y una generalidad de las condiciones agroclimáticas de la zona agroecológica a la que pertenece el predio cafetero seleccionado.

Gráficos climáticos: se podrá interactuar con las figuras que muestran el comportamiento de las principales variables climáticas en tres escenarios: promedio histórico, El Niño y La Niña.

Etapas de floración y cosecha: el usuario podrá visualizar el gráfico de las etapas fenológicas que preceden la cosecha principal.

Indicadores climáticos: se encuentran resaltados los indicadores característicos de la zona agroecológica a la que pertenece el predio cafetero seleccionado y su descripción, para cada uno de los escenarios climáticos.

Recomendaciones: El usuario encontrará las recomendaciones del predio seleccionado para las diferentes labores agronómicas del cultivo: germinadores y almácigos, renovación y establecimiento de cafetales, nutrición, manejo integrado de arvenses, manejo de plagas y enfermedades, poscosecha y otras prácticas culturales.

El ingreso a la plataforma (agroclima.cenicafe.org) está abierto al público general, pero también está la opción de registrarse para tener acceso a más aplicaciones como los registros históricos y la solicitud de datos climáticos.

Requisitos para consultar y acceder a la plataforma agroclimática



El acceso es de uso libre para todos los usuarios que deseen consultar el aplicativo de ZAE para el departamento del Huila en la plataforma.

Debe ser usuario registrado para acceder a los registros históricos y la solicitud de datos climáticos en el aplicativo en la página. <https://agroclima.cenicafe.org/> (Figura 10).

Aplicativo ZAE para el departamento del Huila



Figura 10. Ventana de inicio de la plataforma agroclimática cafetera.

La primera parte del aplicativo, luego de introducir el código de la finca o seleccionar un punto en el mapa, presenta:

- La información de la finca.
- Los meteogramas con la información de los acumulados mensuales de precipitación, brillo solar y temperatura para los escenarios de variabilidad.
- La fenología del cultivo basada en el período de cosecha.
- La interpretación de los indicadores agroclimáticos por escenarios de variabilidad.
- Las recomendaciones para las diferentes labores agronómicas del cultivo.

La parte final del aplicativo presenta las estrategias de adaptación generales y específicas, estas medidas de adaptación se usarán como apoyo en la toma de decisiones.

Literatura citada

Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., y H, W. (2001). *Application of the "Extended BBCH - Scale" for the description of the growth stages of coffee (Coffea sp.)* Boletín Técnico N° 23: 1-32 Chinchiná: Cenicafé.

Arcila, J., y Jaramillo, A. (2003). Relación entre la humedad del Suelo la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances tecnicos*, 311, 1-8. Manizales, Caldas: FNC.

FAO. (1997). *Zonificación Agroecológica, Guía general*. Roma: Boletín de Suelos de la FAO No. 73.

García, J., Posada, H., y Läderach, P. (2013). *Recommendations for the Regionalizing of Coffee Cultivation in Colombia: A Methodological Proposal Based on Agro-Climatic Indices*. Manizales: PLOS ONE, 9(12), e113510. Obtenido de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0113510>.

Gómez, L., Caballero, A., y Baldión, J. (1991). *Ecotopos cafeteros de Colombia*. Bogotá(Colombia): FNC. 131p.

Hutchinson, M., y Xu, T. (2013). *Anusplin Version 4.4 User Guide*. Canberra: Australian National University. 52p.

Peña, A., Ramírez, V., Valencia, J., y Jaramillo, A. (2012). La Lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. En *Avances Técnicos* 415, 1-8. Manizales, Caldas: FNC.

Ramírez, V., Jaramillo, A., y Arcila, J. (2013). Factores Climáticos. En *Manual del cafetero Colombiano. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*, FNC-Cenicafé., Tomo I. p205-237 págs. Chinchiná, Caldas.



Jonnier Alejandro Hoyos Arango
Auxiliar de Investigación
Disciplina de Agroclimatología

Stephan Andrés Salazar Arias
Asistente de Investigación
Disciplina de Agroclimatología

Juan Pablo Carvajal Bohórquez
Asistente de Investigación
Disciplina de TIC

Ninibeth Gibelli Sarmiento Herrera
Asistente de Investigación
Disciplina de Agroclimatología

Juan Carlos García López
Investigador Científico II
Disciplina de Agroclimatología
Cenicafé





2

Herramientas Agroclimáticas

**“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”**





“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”

La respuesta en producción del cultivo de café está definida por interacción de factores genéticos, ambientales y de manejo. El monitoreo meteorológico permite conocer la disponibilidad y los cambios en los elementos climáticos de mayor interés y, a partir de ellos, obtener los índices que mejor relación tienen con la fenología del cultivo y su potencial en cada zona.

Desde la creación de la Federación Nacional de Cafeteros en 1927, se generó un profundo interés en conocer el comportamiento climático, en 1945 los delegados del Congreso Cafetero crearon el Servicio Climatológico y en 1949 inició la operación del Observatorio Meteorológico Cafetero (Cenicafé, 1983). En el año 1954 se instaló la primera estación climática principal en el departamento del Huila, en el municipio de Gigante, denominada Estación Jorge Villamil, la cual junto a la estación Simón Campos, ubicada en El municipio de La Plata e instalada en 2004, corresponden a las únicas de categoría principal de la red convencional del departamento. En este tipo de red funcionan adicionalmente cinco puestos pluviométricos ubicados en Teruel, Algeciras, Garzón, Gigante y Timaná, instalados entre los años 1985 y 1986, y uno instalado en 1999 en Gigante.

Para el año 2013, la Federación Nacional de Cafeteros desarrolló una estrategia de implementación de una red meteorológica automática, en el marco de un convenio con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). De las 107 estaciones para todo Colombia, en el departamento del Huila fueron instaladas ocho estaciones, que se sumaron a ocho puestos de observación convencional (Figura 1).

En el marco del proyecto “Aplicación de Ciencia, Tecnología e Innovación en el cultivo de café ajustado a las condiciones particulares de la caficultura del Huila” y con recursos del Sistema General de Regalías, se decidió fortalecer la red con 18 estaciones, enmarcadas en el componente “Herramientas para la toma de decisiones en la caficultura del Huila”. Su instalación y puesta en operación se realizó en dos fases: la primera, desarrollada en agosto de 2016, en la cual se instalaron 16 estaciones y la segunda, en febrero de 2018, con la instalación de dos estaciones, dando cumplimiento al objetivo establecido en este componente (Figura 1).

En este capítulo se presenta el desarrollo metodológico y técnico de la instalación de las estaciones climáticas en el departamento del Huila, así como las oportunidades que ofrecen los equipos instalados al gremio cafetero.

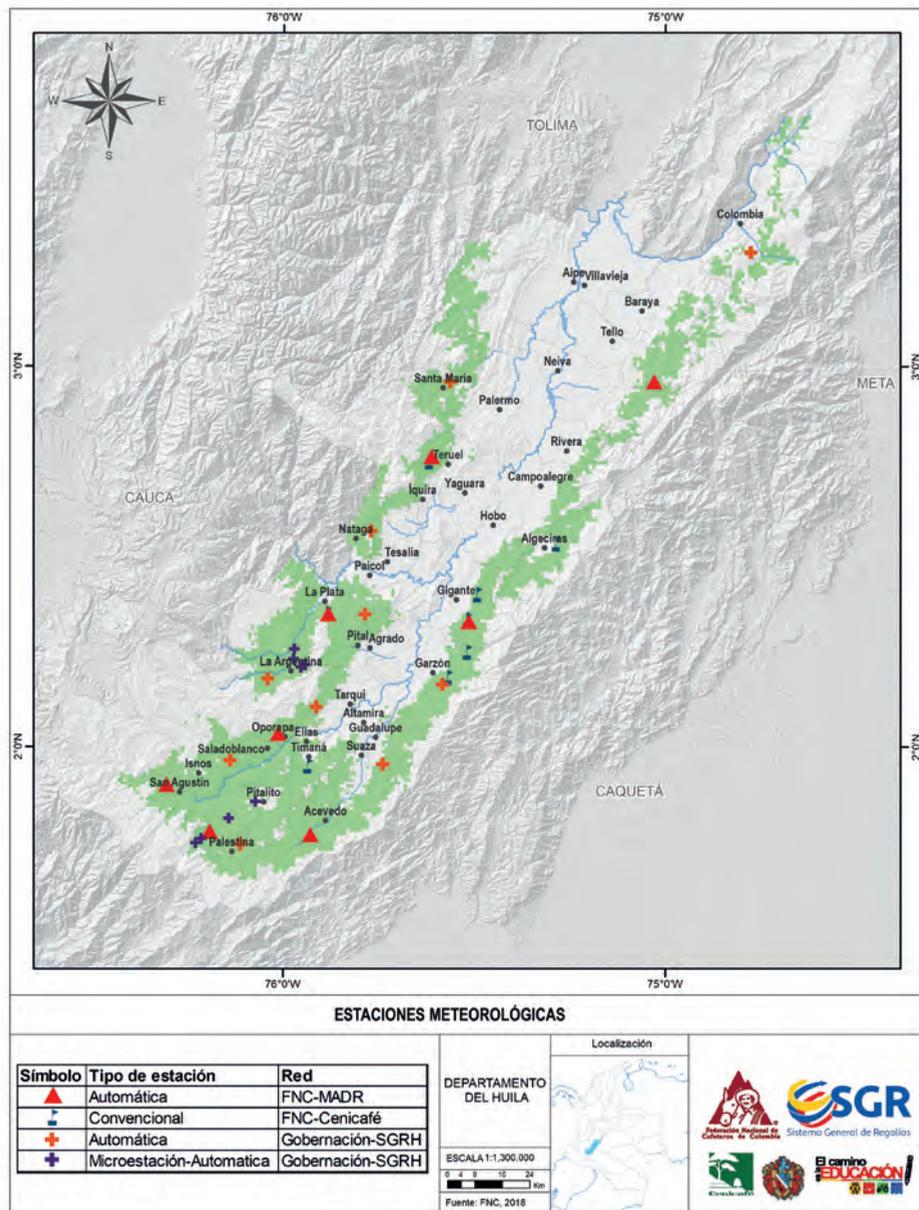


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la red cafetera en el departamento del Huila.

Aspectos técnicos y etapas de instalación de la red meteorológica

¿Qué es una estación meteorológica?

Una estación meteorológica puede definirse como el conjunto de instrumentos que permiten medir y registrar las diferentes variables meteorológicas que describen el comportamiento de la atmósfera y del medio ambiente (Organización Meteorológica Mundial, 1990). Existen diferentes tipos de estaciones según las variables medidas, el tipo de instrumentos y su aplicación.

La Red de Estaciones Meteorológicas de la Federación Nacional de Cafeteros cuenta con estaciones convencionales, estaciones automáticas y microestaciones automáticas. Las estaciones convencionales están dotadas de instrumentos que miden y registran las condiciones ambientales como el heliógrafo para la medición de brillo solar, el anemómetro para la medición de la velocidad del viento, el pluviómetro y pluviógrafo para la medición de la lluvia, el termómetro para la medición de la temperatura, entre otros. Todos estos instrumentos, requieren que un observador realice la lectura y registro de la información meteorológica (Figura 2).

Las estaciones meteorológicas automáticas están dotadas de sensores que responden a los estímulos ambientales, por medio de señales eléctricas y de unidades de adquisición y transmisión de datos, capaces de registrar y recolectar la información meteorológica en forma automática y en tiempo cercano al real, permitiendo así monitorear las variaciones de las diferentes variables meteorológicas con mayor resolución temporal (Figura 2).

Las microestaciones agrometeorológicas automáticas realizan observaciones meteorológicas y biológicas que permiten determinar relaciones entre las condiciones ambientales y el desarrollo de los cultivos. Están dotadas de sensores que miden de forma directa variables relacionadas con el comportamiento de las plantas y unidades de almacenamiento y transmisión de la información (Figura 2).



Figura 2. Tipos de estaciones de la Red Meteorológica Cafetera.



La red meteorológica cafetera del Huila es una de las de mayor cobertura en el país, cuenta con ocho estaciones convencionales, dos principales y seis pluviométricas, 18 estaciones automáticas y ocho microestaciones automáticas.

Aspectos técnicos de las condiciones del sitio para operar una estación

Las estaciones meteorológicas tienen como finalidad realizar mediciones representativas de las condiciones atmosféricas de un lugar, según el tipo de estación y la aplicación que se quiera dar. Previo a la implementación, es necesario definir el propósito de la instalación, para determinar la ubicación más adecuada, los requerimientos técnicos de instrumentación y los procedimientos de observación que cumplen dicho propósito (Sarmiento *et al.*, 2018).

Para la ubicación de una estación meteorológica es necesario que se cumplan los siguientes requisitos según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2014):

- Los sitios seleccionados deben estar alejados de árboles, edificios, terrenos con pendiente pronunciada u otros obstáculos, a una distancia mayor o igual a diez veces la altura del obstáculo.
- El terreno debe estar nivelado, en un lugar donde el clima y el suelo permitan una cobertura de césped y bajo ninguna circunstancia la superficie del suelo puede ser de concreto, asfalto o roca triturada.
- Deben evitarse ubicaciones cercanas a lagos, pantanos o áreas de frecuente aspersión o inundación, e investigar la probabilidad de que las condiciones de la ubicación permanezcan iguales durante un período de tiempo prolongado, con pocos cambios en el entorno.
- Con el fin de minimizar los efectos por tránsito de personas y animales cerca de la estación, debe realizarse un encerramiento, que no represente obstáculos para la medición de las diferentes variables meteorológicas.
- La calidad de las observaciones depende mucho del ambiente circundante a la estación, por lo que debe procurarse que las condiciones físicas del sitio seleccionado se mantengan a lo largo del tiempo.

Para realizar las actividades de instalación de las estaciones y microestaciones meteorológicas automáticas del proyecto y, con el propósito de cumplir con los objetivos planteados, se definió la metodología con la cual se adelantó el proceso de una manera efectiva, el cual se dividió en seis fases:

- Definir una zona representativa, según los fines investigativos, acogiendo los requisitos de la OMM, descritos anteriormente (OMM, 2014).
- Preselección de los sitios por parte del Comité Departamental de Cafeteros para la posible implementación de la estación meteorológica.
- Visita de Cenicafé para identificar los sitios escogidos por el Comité y realizar pruebas de comunicación.

- Firma de un comodato entre el caficultor y la Federación Nacional de Cafeteros.
- Construcción de la obra civil o cerramiento de la estación meteorológica.
- Instalación de la estación meteorológica.
- Acta de entrega de los equipos al caficultor.

Además de cumplir con el protocolo señalado, los caficultores recibieron información sobre los conceptos básicos de cómo funcionan los sensores y de las actividades mínimas de mantenimiento y aprendieron a monitorear el funcionamiento de la estación, a través de la página web agroclima.cenicafe.org, en la cual consultan la información desplegada por la estación.



Los caficultores asumieron un compromiso clave en la estrategia de implementación de las estaciones y microestaciones, ya que dispusieron áreas de sus fincas y cultivos para la instalación de los equipos. Ellos, como líderes en sus regiones, permiten consolidar el triángulo de la investigación, como custodios, veedores y usuarios de la información.

Ubicación, sensores y equipos que componen la red meteorológica automática

En el desarrollo de la actividad se instalaron diez estaciones principales automáticas que miden las variables de temperatura del aire, humedad relativa, lluvia, radiación global, radiación fotosintéticamente activa, humedad del suelo y velocidad del viento, y ocho micro-estaciones automáticas, que complementario a las variables que se registran en las estaciones principales, la humedad de la hoja y la dirección del viento (Tablas 1 y 2). Para estas estaciones fue necesario instalar cerramientos, con el fin de asegurar el área requerida para el funcionamiento de la estación (25 m² para estaciones automáticas y 8 m² para microestaciones), minimizar los efectos por tránsito de animales o personas cerca de la estación y brindar condiciones de seguridad a los equipos.

Las estaciones se ubicaron estratégicamente en municipios cafeteros del Huila de acuerdo con la información espacial de la red meteorológica de Cenicafe y un análisis técnico entre el Servicio de Extensión del departamento y el Centro (Figura 1).



La red meteorológica cafetera, fortalecida con este proyecto, tiene presencia en 20 de los 35 municipios cafeteros del Huila.

Tabla 1. Metadato de las estaciones meteorológicas automáticas, instaladas en el marco del proyecto de CT&I con recursos del SGR, en el departamento del Huila.

| Código | Estación | Municipio | Longitud ° Oeste | Latitud ° Norte | Fecha instalación | Altitud (m) | Cordillera | Vertiente | Tipo |
|--------|--------------|--------------|---------------------|--------------------|----------------------|-------------|------------|-----------|---------------|
| 40001 | TransPit1 | Pitalito | -76,07 | 1,856 | 2016-08-03 | 1.280 | Occidental | Oriental | Microestación |
| 40002 | TransPit2 | Pitalito | -76,14 | 1,812 | 2016-08-05 | 1.347 | Occidental | Oriental | Microestación |
| 40003 | TransPit3 | Pitalito | -76,21 | 1,758 | 2016-08-06 | 1.659 | Occidental | Oriental | Microestación |
| 40004 | TransPit4 | Pitalito | -76,22 | 1,747 | 2016-08-06 | 1.898 | Occidental | Oriental | Microestación |
| 40005 | TransPla1 | La Plata | -75,97 | 2,257 | 2016-08-12 | 1.362 | Oriental | Central | Microestación |
| 40006 | TransPla2 | La Argentina | -75,97 | 2,232 | 2016-08-13 | 1.531 | Oriental | Central | Microestación |
| 40007 | TransPla3 | La Argentina | -75,95 | 2,209 | 2016-08-15 | 1.601 | Oriental | Central | Microestación |
| 40008 | TransPla4 | La Argentina | -75,94 | 2,215 | 2016-08-15 | 1.884 | Oriental | Central | Microestación |
| 40101 | El Mirador | Pitalito | -76,13 | 1,964 | 2016-08-07 | 1.696 | Oriental | Central | Estación |
| 40102 | Palestina | Palestina | -76,11 | 1,743 | 2016-08-08 | 1.550 | Occidental | Oriental | Estación |
| 40103 | Nátaga | Nátaga | -75,77 | 2,567 | 2016-08-16 | 1.910 | Oriental | Central | Estación |
| 40104 | Guadalupe | Guadalupe | -75,73 | 1,954 | 2016-08-09 | 1.403 | Occidental | Oriental | Estación |
| 40105 | Tarqui | Tarqui | -75,91 | 2,105 | 2016-08-10 | 1.570 | Oriental | Central | Estación |
| 40106 | Garzón | Garzón | -75,56 | 2,183 | 2016-08-08 | 1.420 | Occidental | Oriental | Estación |
| 40107 | Colombia | Colombia | -74,77 | 3,301 | 2016-08-17 | 1.630 | Occidental | Oriental | Estación |
| 40108 | Santa María | Santa María | -75,56 | 2,960 | 2016-08-18 | 1.660 | Oriental | Central | Estación |
| 40109 | La Argentina | La Argentina | -76,04 | 2,179 | 2018-02-14 | 1.851 | Oriental | Central | Estación |
| 40110 | Paicol | Paicol | -75,78 | 2,347 | 2018-02-14 | 2.007 | Oriental | Central | Estación |

Tabla 2. Listado de equipos y sensores para estaciones y microestaciones.

| Item | Listado | Descripción | Estación | Micro Estación |
|----------|---|--|----------|----------------|
| 1 | Sensores | | | |
| 1.1 | HMP60 | Sensor de temperatura y humedad relativa | x | x |
| 1.2 | TE-525 | Pluviómetro | x | |
| 1.3 | Lambrecht rain (e) | Pluviómetro gravimétrico | | x |
| 1.4 | CS616 | Contenido volumétrico de agua | | x |
| 1.5 | SP-110 | Radiación global | x | x |
| 1.6 | SQ-110 | Radiación fotosintéticamente activa | x | x |
| 1.7 | Lambrecht 14577 | Anemómetro | x | |
| 1.8 | Young 05103 | Anemocinómetro | | x |
| 1.10 | LWS Decagon | Humedad de la hoja | | x |
| 2 | Hardware | | | |
| 2.1 | Datalogger CR1000 | Sistema de captura y procesamiento de datos | x | x |
| 2.2 | Datalogger CR800 | Sistema de captura y procesamiento de datos ¹ | x | |
| 2.3 | LMS2430 / SR-HP2430 | Regulador de carga ² | x | |
| 2.4 | PS200 +12V 9HAmp/ 12 V 33 HAmp | Cargador + batería | x | x |
| 2.5 | 20W SP20 / SolarLand 40W | Panel solar | x | x |
| 3 | Comunicaciones | | | |
| 3.1 | Airlink LS 300 / RV50 (Sierra Wireless) | Equipo de comunicación GPRS | x | x |
| 3.2 | TX-321G | Equipo de comunicación satelital ² | x | |
| 3.3 | 25316 GOES | Antena transmisor satelital ² | x | |
| 3.4 | Larsen YA525W | Antena transmisor GPRS | x | x |

¹Exceptuando estaciones Paicol y La Argentina

²Estación de Garzón, Guadalupe y la Nátaga.

Equipos que componen la red meteorológica cafetera

Pluviómetro

Se utiliza para medir la cantidad de lluvia. Se dispuso de dos tipos de pluviómetros: 1) gravimétrico y 2) de balancín. El pluviómetro gravimétrico (Figura 3) permite medir cantidad de lluvia y su intensidad, con una alta resolución y precisión, gracias a una celda de carga que mide el peso de las gotas de agua que caen sobre el dispositivo, con registros desde 0,02 g que equivalen a 0,001 mm. El pluviómetro de balancín capta el agua por el área receptora y es conducida mediante un embudo a una cubeta basculante que registra la cantidad de lluvia en milímetros (Figura 4).



Figura 3. Pluviómetro gravimétrico.



Figura 4. Pluviómetro de balancín.

La cantidad de agua lluvia que ingresa a los cultivos, medida en los pluviómetros, permite conocer la forma en que se distribuye en una zona y a través de cada año, y si supe la demanda evapotranspirativa.

Con base en la distribución, se obtienen índices de disponibilidad hídrica, los cuales definen los períodos secos y húmedos y a partir de ellos se desarrollan estrategias de planificación como fechas de renovación o siembras, fertilización, manejo fitosanitario y sistema de cultivo, entre otros. Adicionalmente, la planta, las plagas y las enfermedades, cambian sus dinámicas de desarrollo y crecimiento en respuesta a los períodos secos y húmedos.

El valor anual requerido por el cultivo de café es superior a 1.400 mm.

Sensor de temperatura y humedad (termómetro e higrómetro).

La temperatura es la medida del contenido de calor de un cuerpo o del medio ambiente y se expresa en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Se denomina humedad relativa a la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se expresa como porcentaje (Organización Meteorológica Mundial, 1990). El sensor que mide la temperatura y la humedad se presenta en la Figura 5, y en la Figura 6 se presenta el dispositivo de protección del sensor de temperatura, entre sus funciones se encuentra proteger el dispositivo de la radiación solar, de la lluvia y permitir la entrada de aire en el dispositivo, con el objetivo de garantizar el óptimo desempeño del sensor.



Figura 5. Sensor de temperatura y humedad.



Figura 6. Protector de radiación del sensor.

La temperatura es una manifestación del calentamiento del aire que emite la Tierra por la radiación. Es medida en los termómetros y, de su análisis histórico, se ha comprobado su relación con la duración de los procesos fenológicos durante las fases vegetativa y reproductiva, como tiempo transcurrido entre siembra y primera floración, primera cosecha, máximo desarrollo foliar.

Corresponde a un elemento clave para estimar la densidad y la duración del ciclo productivo y tiene una respuesta lineal inversa con la altitud, con disminución entre 0,5 y 0,6 $^{\circ}\text{C}$ por ascenso en 100 m. La mayor parte de los cultivos de café en Colombia se encuentran en un rango entre 17 y 23 $^{\circ}\text{C}$ de temperatura del aire promedio.



Sensores de radiación global y radiación fotosintéticamente activa

La radiación global se define como la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra y es la suma de la radiación directa de onda corta del sol y de la radiación difusa resultante de todos los otros ángulos (Allen *et al.*, 2006). El sensor más utilizado para la medición de radiación global es el piranómetro, el cual mide la intensidad de la radiación solar total, su medida se expresa en Watts por metro cuadrado (W/m^2).

La radiación fotosintéticamente activa se define como la proporción aprovechable de energía que las plantas utilizan para realizar fotosíntesis. Para su medición se utilizan sensores cuánticos que permiten medir el flujo de radiación fotosintéticamente activa entrante y saliente, expresado en $\mu mol/m^2s$ (Figura 7).

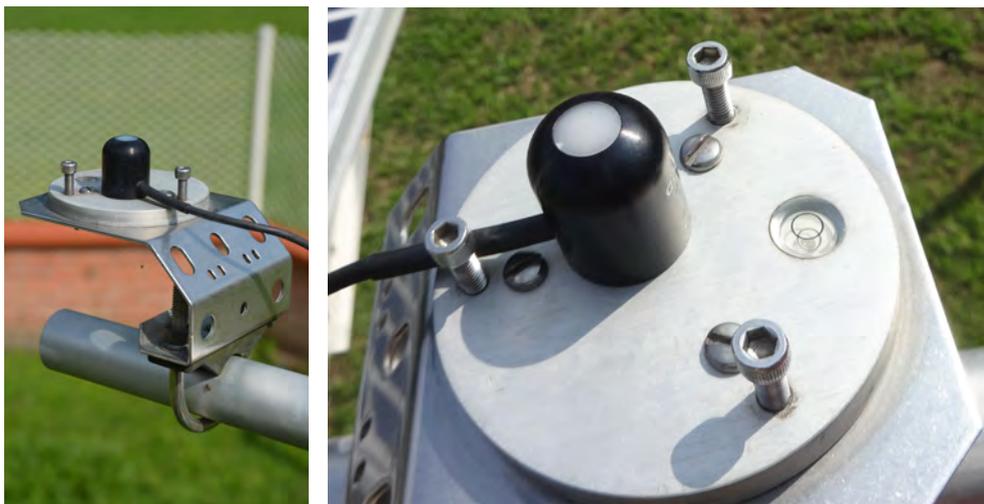


Figura 7. Sensores de radiación global y radiación fotosintéticamente activa.

La radiación solar determina la cantidad de energía que la planta puede disponer para sus procesos de fotosíntesis y conversión en materia seca, representada en cantidad y peso de los frutos. Es un elemento clave determinante del potencial de producción en cada zona. Valores anuales por debajo de 1.400 horas de brillo solar limitan en más de un 50% del potencial productivo. El referente satisfactorio para el cultivo está entre 1.400 y 1.800 horas anuales. El monitoreo de esta variable contribuye a conocer su distribución de acuerdo con su ubicación, época del año y sistema de producción.

Sensor de humedad de la hoja

Esta variable se refiere a la humedad que se encuentra en la superficie de las hojas, ya sea por formación de rocío o por lluvia; se emplea para la evaluación de enfermedades. El sensor detecta la presencia y duración de humedad mediante una superficie eléctrico-resistiva, mide la constante dieléctrica sobre la superficie de la hoja (Figura 8).



Figura 8. Sensor de humedad de la hoja.

Sensor de humedad del suelo

La disponibilidad de agua en el suelo es una condición esencial para la vida de las plantas. La humedad del suelo es una variable clave en monitoreo del movimiento del agua en el suelo hacia la atmósfera a través de la evapotranspiración de la planta, y dentro del suelo por la infiltración y flujos laterales. Uno de los métodos para la medición del contenido de humedad en el suelo es la reflectometría de dominio temporal (*Time Domain Reflectometry, TDR*) (Figura 9). Los sensores basados en este método, consisten en dos barras de acero inoxidable conectadas a una placa de circuito. Mide el tiempo que tarda una onda electromagnética en llegar de una banda a otra. A mayor humedad en el suelo mayor será el tiempo que tarda la onda.

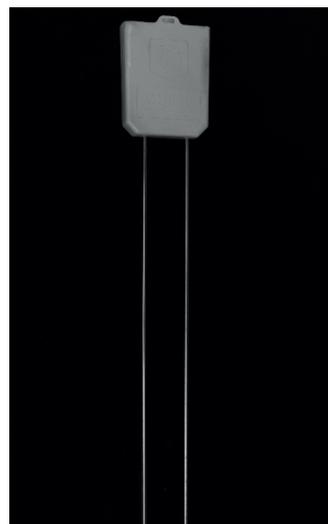


Figura 9. Sensor TDR para medición de humedad del suelo.

Anemómetro y anemocinómetro

El viento es definido como “el aire en movimiento” y se describe por dos características: la velocidad y la dirección. La velocidad se mide en metros por segundo (m/s), el equipo que lo registra está conformado por tres cazoletas en el extremo superior, las cuales se mueven con la fuerza ejercida por el viento. La velocidad y dirección se miden con un anemómetro de hélice y veleta (Figuras 10 y 11). La dirección se expresa en grados de azimut o puntos cardinales Norte, Sur, Este, Oeste, Noreste, Noroeste, Sureste, Suroeste.



Figura 10. Sensor de velocidad del viento.



Figura 11. Sensor de velocidad y dirección del viento.

Datalogger

Es un dispositivo programable que permite almacenar, procesar y organizar la información medida por los sensores, para luego enviarla a través de un sistema de comunicación a la plataforma (Figura 12).



Figura 12. Datalogger, dispositivo de captura y procesamiento de información.

Panel solar

Sirve para alimentar de energía la batería que da soporte a los equipos que componen la estación (Figura 13).



Figura 13. Panel solar estaciones meteorológicas.

Regulador de voltaje

Equipo encargado de tomar la energía proveniente del panel solar y distribuirla para la operación del *datalogger* y de la batería, garantizando que la alimentación suministrada a los sensores y al *datalogger* esté dentro de los rangos de operación, asegurando el funcionamiento de los equipos (Figura 14).



Figura 14. Regulador de voltaje estaciones meteorológicas.

Batería

Este dispositivo permite almacenar la energía suministrada por el panel solar durante el día. En las noches la batería se encarga de alimentar todos los sensores y dispositivos que conforman la estación meteorológica, asegurando la continuidad de los registros, su almacenamiento y posterior envío (Figura 15).



Figura 15. Batería de las estaciones meteorológicas.

Antena

Recibe la señal para enviar los datos a través del módem (Figura 16).



Figura 16. Antena estaciones meteorológicas.

Caja de encerramiento

Permite almacenar y proteger de la intemperie los siguientes dispositivos: *datalogger*, módem, regulador de carga y batería (Figura 17).



Figura 17. Caja de encerramiento

Módem

Es el equipo encargado de tomar los datos almacenados por el *datalogger* y enviarlos a la plataforma agroclimática por medio de una antena (Figura 18).



Figura 18. Modem de las estaciones meteorológicas.

Trípode

Es la estructura en cual se soportan todos los elementos que contiene la estación (Figura 19).



Figura 19. Trípode de las estaciones meteorológicas.

Punta catódica.

Se encarga de canalizar las descargas eléctricas o rayos (Figura 20).



Figura 20. Punta catódica estaciones meteorológicas.

Operación de los sensores meteorológicos

Cada uno de los sensores (en su respectivo acondicionamiento), convierte los cambios de las variables físicas en una señal eléctrica proporcional, que posteriormente es enviada a un *datalogger*, en el cual, las unidades de referencia de la variable son convertidas a datos, y se almacenan en su memoria en un archivo de texto; esta operación se realiza cada cinco minutos. Para el funcionamiento del *datalogger*, la batería de 12 voltios, cargada por un panel solar, almacena la energía durante las horas del día para garantizar la operación de la estación durante las horas de la noche.

Una vez almacenada la información, se transmite por medio de comunicación GPRS (similar a la de los teléfonos celulares) o satelital, la cual se recibe y almacena en un servidor de Cenicafé, donde se realizan los procedimientos con el fin de depurar la información antes de publicarse en la plataforma agroclimática.

Actividades de mantenimiento preventivo de los elementos que componen la estación

Esta es una actividad esencial, debido a que las estaciones y microestaciones meteorológicas automáticas, son un conjunto de elementos que miden y registran datos climáticos, los cuales son almacenados y transmitidos de forma automática; sin embargo, las estaciones meteorológicas presentan problemas recurrentes tales como: el taponamiento del pluviómetro, fallas eléctricas en la batería, fallas en los equipos de comunicación, entre otros, por eso la necesidad de realizar mantenimientos preventivos y correctivos para garantizar el óptimo funcionamiento de la estación.

Para evitar el deterioro y asegurar el correcto funcionamiento de la estación meteorológica, se describirán algunas pautas de mantenimiento preventivo, que deben asumirse sólo si existe una capacitación previa para su realización. Las de tipo preventivo que incluyan cambio de los sensores, revisión de los componentes electrónicos o verificación del código de programación, serán realizadas únicamente por profesionales, durante las visitas de inspección meteorológica.

Caja de encerramiento

Para evitar su deterioro, con la caja cerrada, se recomienda que mensualmente se limpie exteriormente con un trapo húmedo y jabón y se lave con agua. Se inspecciona internamente y, con ayuda de una brocha o un paño seco, se retiran los insectos o la humedad.

Pluviómetro

Se recomienda su inspección visual cada semana o después de eventos fuertes de ventiscas y lluvia o de poda de la grama interna o externa. Debe verificarse que no exista obstrucción en el embudo en el proceso de verificación, cuando exista obstrucción, debe levantarse y liberarlo de elementos como hojas, pasto, insectos o suelo, que originan taponamiento del orificio. La operación se realiza alejada del mecanismo interno. Al interior, se verifica el nivel y se retira cualquier elemento extraño, principalmente nidos de insectos, que pueden alterar el funcionamiento operativo. En esta última actividad, de manera previa, debe fijarse el balancín, ya que cada movimiento que se efectúe enviará una señal que se convertirá en un dato de lluvia erróneo. Finalmente se coloca la boca receptora y se registra la operación efectuada (Figura 21).

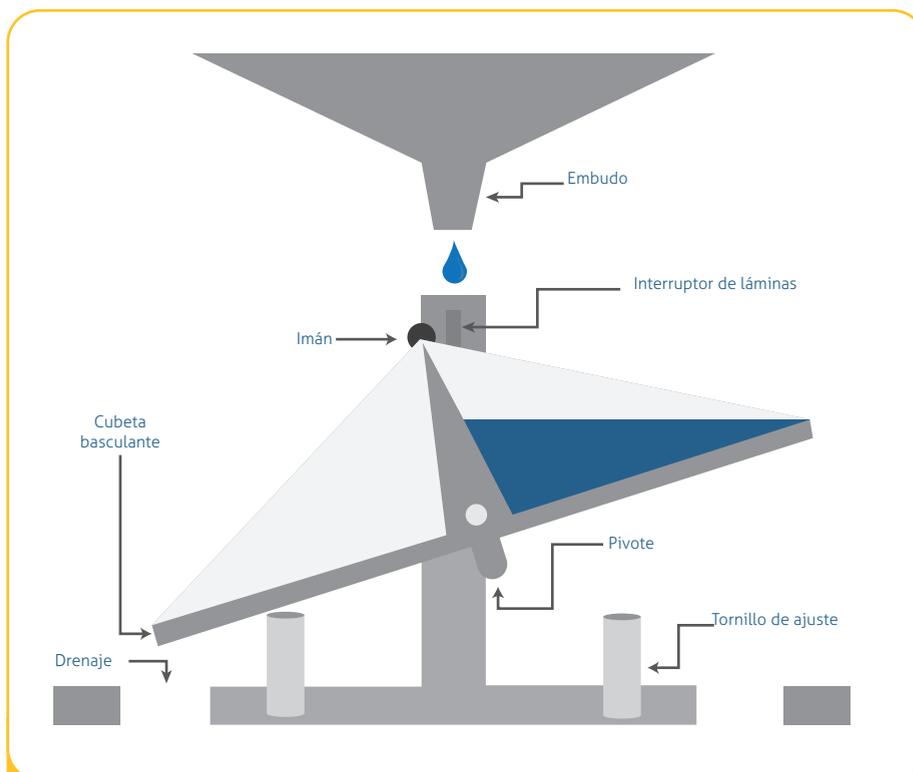


Figura 21. Embudo y balancín, pluviómetro de balancín de estaciones meteorológicas (Fuente: Sarmiento et al., 2018).

Temperatura y humedad relativa.

El protector de los sensores de temperatura y humedad relativa debe inspeccionarse cada semana y observar si existe algún tipo de contaminación u obstrucción y proceder a limpiarla externamente.

Radiación global

Cada semana debe verificarse que no exista contaminación originada por obstrucción de los vidrios de los sensores. Los vidrios se limpian con una tela especial, sin ocasionar rayones.

Velocidad del viento

Su inspección se realiza cada semana con el fin de verificar su funcionamiento, especialmente a bajas velocidades del viento. Al momento de observar presencia de telarañas o nidos de insectos, deben removerse con ayuda de un escobillón o escoba de cerdas suaves.

Visitas de inspección meteorológica

La OMM (Organización Meteorológica Mundial, 2011) recomienda realizar al menos dos visitas de inspección por año. Un insumo clave de la planeación de actividades y verificación del funcionamiento previo a la inspección, es poder comunicarse con los custodios o guardianes de las estaciones, quienes indicarán las posibles fallas y las señales evidentes de daños de los sistemas de observación y transmisión.

Después de cada visita debe hacerse seguimiento a las recomendaciones realizadas a todos los involucrados en el proceso; documentar el historial de visitas y cambios efectuados en la estación.

En el entorno de cada encerramiento debe asegurarse que la cobertura o grama se encuentre con corte bajo, que no se instalen cultivos transitorios o permanentes, que se limite totalmente el acceso de animales, la instalación de líneas eléctricas, la construcción de edificaciones o se realicen actividades que impidan el correcto funcionamiento de la estación.

Se recomienda que al menos cada dos meses se realice un chequeo a la estación con acompañamiento institucional. Cada seis meses, en la rutina de inspección por parte del personal calificado, además de la limpieza, se realiza la verificación de las puntas conectoras de los sensores y se chequean si los cables tienen agrietamientos y si los cables de tensión tienen algún deterioro o si la torre o trípode presenta daños estructurales.



Las condiciones en el sitio donde se encuentra una estación meteorológica deben permanecer inalteradas, libres de obstáculos y en condiciones de limpieza, que permitan su operación y registro de datos acorde con la realidad. Debe existir un compromiso de caficultores y Extensionistas, para velar por el cuidado de la estación.

La Plataforma Agroclimática Cafetera

La Plataforma Agroclimática Cafetera es una iniciativa del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, que ha monitoreado el clima de la zona cafetera colombiana durante los últimos 70 años. Esta plataforma es una herramienta básica de apoyo para caficultores, extensionistas e investigadores, en la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo del café.

La plataforma tiene dos objetivos básicos: el primero es atenuar la incertidumbre al momento de tomar decisiones, motivo por el cual dentro de la plataforma se tienen sistemas de apoyo para la toma de decisiones, y el segundo, es propender por atenuar el riesgo de tener pérdidas productivas por efecto del clima, a través de aplicativos de seguimiento de la disponibilidad hídrica en el suelo o la dinámica de la población de un insecto plaga.

Los interesados pueden consultar las condiciones actuales (últimas 24 horas) y los boletines diarios y mensuales, además, en el proceso interno de recepción, control de calidad y repositorio de información validada, se garantiza que la base de datos asociada cumpla con los estándares para su utilización y generación de otros tipos de reportes. La red, así diseñada, provee la información del transcurso del tiempo meteorológico como soporte a la emisión de boletines agrometeorológicos, la generación de alertas tempranas por disponibilidad hídrica, de plagas y enfermedades.

El ingreso a la plataforma está abierto al público general, pero también está la opción de registrarse para tener acceso a más aplicaciones como los registros históricos y la solicitud de datos climáticos.

Requisitos para consultar y acceder a la plataforma agroclimática



Paso 1

El acceso es de uso libre para todos los usuarios que deseen consultar la plataforma

Paso 2

Debe ser usuario registrado para acceder a los registros históricos y la solicitud de datos climáticos en el aplicativo en la página <https://agroclima.cenicafe.org/> (Figura 22)



Figura 22. Ventana de inicio de la plataforma agroclimática cafetera.

Paso 3

La plataforma presenta tres secciones principales de consulta: tiempo y clima, aplicaciones y documentación cada una con diferentes ventanas de acceso (Figura 23).

Paso 4

La recopilación de la base de datos climática registrada por las estaciones, genera los productos a los que puede accederse en la plataforma como: la consulta del estado actual del clima en toda la región cafetera, la consulta de un boletín diario y los registros históricos climáticos. Entre sus aplicaciones se encuentran las épocas de siembra y la solicitud de datos meteorológicos. En la documentación se encuentran los boletines agrometeorológicos mensuales.



Figura 23. Aplicaciones de la plataforma agroclimática cafetera.

Literatura citada

Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riesgo y Drenaje 56. Roma: FAO.

Cenicafé. (1983). 40 años de investigación en Cenicafé. Cenicafé. Vol. 2 de 3. Clima. Chinchiná, Caldas. 56p. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/695>.

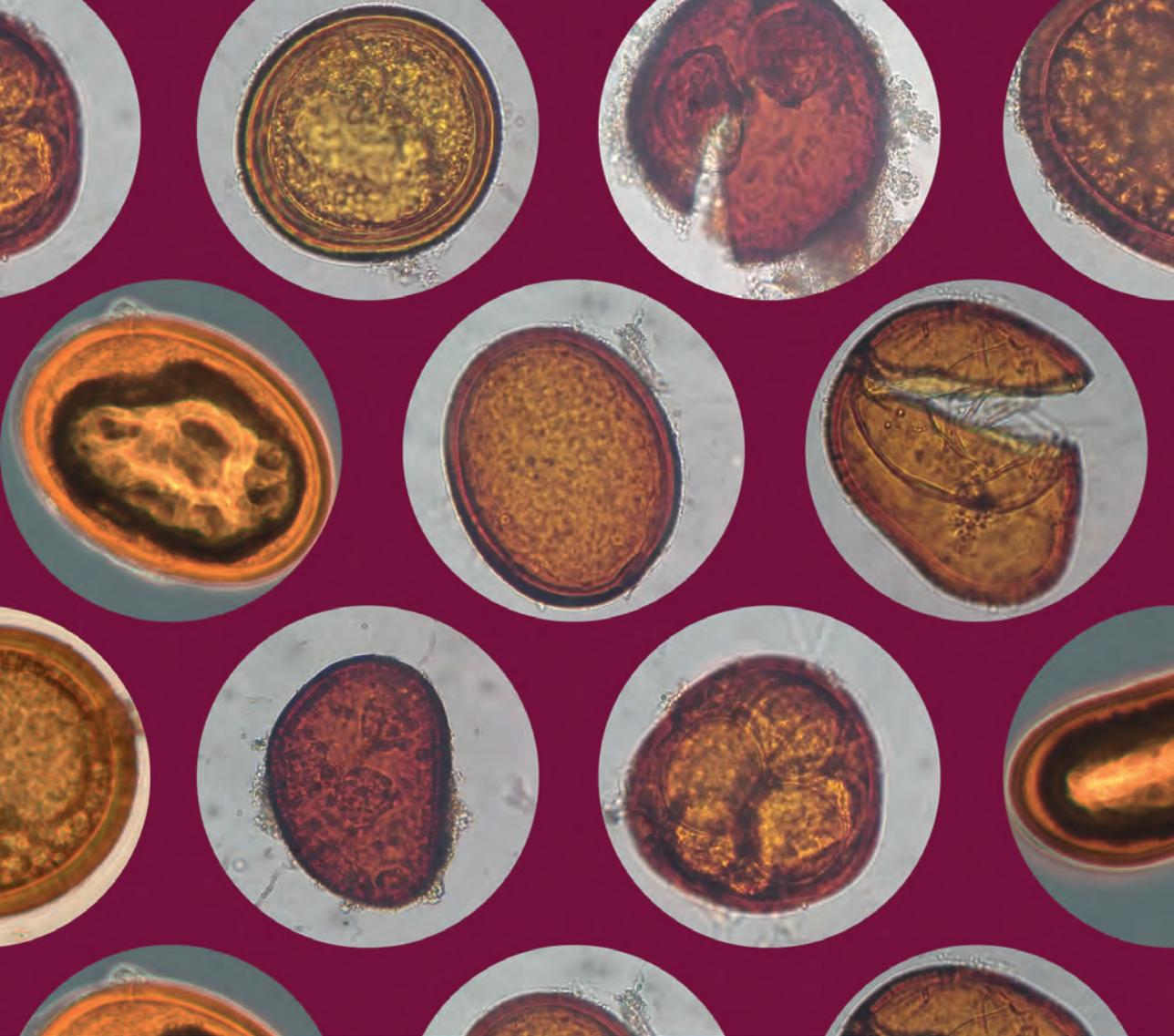
Organización Meteorológica Mundial. (1990). Glosario de términos usados en agrometeorología. Ginebra, Suiza: OMM.

Organización Meteorológica Mundial. (2010). Guide to agricultural meteorological practices. WMO-No.134. Serie Weather – Climate – Water. Geneva, Switzerland: WMO. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/gamp/documents/WMO_No134_en.pdf

Organización Meteorológica Mundial. (2011). Guía de prácticas climatológicas. OMM-N° 100. Serie Tiempo – Clima – Agua. Ginebra, Suiza: OMM. http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_100_en.pdf

Organización Meteorológica Mundial. (2014). Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-N° 100. Serie Tiempo – Clima – Agua. Ginebra, Suiza: OMM. https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3664

Sarmiento, N., Ramírez, C., Jaramillo, A., Restrepo, A., y García, J. (2018). *Monitoreo climático: Herramienta al servicio de la caficultura colombiana*. Proyecto GIA - Manos al Agua. Cenicafé. 110 p. www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/proyecto_gia_manos_al_agua/P8.



Carlos Alberto Rivillas Osorio
MSc. Investigador senior

Carlos Mario Calle
MSc. Asistente de investigación

Carlos Ariel Ángel Calle
Ph.D. Investigador Científico III
Disciplina de Fitopatología
Cenicafé



Micorrizas Arbusculares

**“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”**



Los suelos constituyen uno de los mayores reservorios de biodiversidad, y los organismos del suelo desempeñan una función clave en la prestación de muchos servicios ecosistémicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura- FAO 2017). Actualmente el uso de microorganismos benéficos en la agricultura juega un papel importante para la sostenibilidad de los ecosistemas; por ello, se ha incrementado el uso de bacterias promotoras de crecimiento vegetal, bacterias fijadoras de nitrógeno, microorganismos solubilizadores de fosfato y hongos formadores de Micorrizas Arbusculares – MA (Guerra, 2008).

La importancia de entender la microbiota del suelo radica en el hecho que todos los microorganismos que allí habitan realizan una serie de funciones clave para mantener la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales. De esta manera, las MA pueden tener una alta incidencia en la estabilidad de los ecosistemas y sistemas de producción donde las condiciones del suelo son extremas o limitantes (Garzón, 2016). Por ejemplo, suelos muy ácidos, muy básicos o por el tipo de textura (suelos arcillosos) que impedirían el normal desarrollo de las raíces.

En el marco del convenio “Aplicación de Ciencia, Tecnología e Innovación en el Cultivo de Café Ajustado a las Condiciones Particulares de la Caficultura del Huila” y en relación a la subactividad “*Aislamiento, identificación y funcionalidad de micorrizas arbusculares aisladas del departamento del Huila*”, se ofrece a los caficultores del departamento, este capítulo que contribuye a conocer qué son las Micorrizas Arbusculares – MA, su importancia por la capacidad de formar una verdadera relación simbiótica/mutualista con las raíces de plantas de café, y el potencial ofrecido que se traduce en una serie de beneficios para la planta, principalmente en aspectos de crecimiento, desarrollo y fitosanidad.

Para ello, se seleccionaron con criterios técnicos, de manejo y de diversidad de los sistemas de producción de café, 105 lotes de café en los 35 municipios cafeteros del Huila, y en las seis zonas agroecológicas del departamento (ZAE). En general, se encontraron diferentes especies de MA en todos los suelos cafeteros del Huila, con rangos entre 5 y 2.392 esporas nativas por 100 g de suelo, con porcentajes de colonización de las MA en las raíces de café entre 1% y 51%. Del estudio, se seleccionaron 13 inóculos nativos de MA provenientes de los municipios de Garzón, Elías, Isnos, Palestina, San Agustín, Timaná, Tarqui, La Argentina, La Plata y Colombia, representativos de las seis ZAE, a los cuales se les ha determinado su potencial con base en pruebas de laboratorio e invernadero, y los efectos positivos de las MA en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café en pruebas de efectividad en almácigos con la variedad Cenicafé 1.

Estos avances generales son un indicativo de la presencia y la actividad biológica de estos hongos en los procesos de colonización sobre las raíces de las plantas, evidenciando una alta diversidad de MA asociadas a la rizosfera de plantas de café y de la necesidad de su conservación y aprovechamiento por la labor benéfica que están realizando.

¿Qué son las Micorrizas Arbusculares – MA?

Micorriza hace referencia a la asociación simbiótica (“vivir conjuntamente dos o más organismos”), entre las raíces de las plantas y cierto grupo de hongos habitantes naturales del suelo. Es una relación mutualista, porque tanto los hongos como la planta hospedante se benefician (García, 2009). El hongo simbionte recibe carbohidratos de la planta, ya que es incapaz de realizar fotosíntesis, lo que sí hace la planta, y a cambio el hongo brinda a la planta varios beneficios reflejados en su crecimiento, sanidad y nutrición (Jaramillo, 2011). La palabra se origina de los vocablos griegos *mycos* (hongo) y *rhiza* (raíz).

Una de las principales características de las micorrizas arbusculares es su capacidad de extenderse más allá de la zona de raíces (Figura 1). El hongo desarrolla toda una red de micelio con la capacidad de explorar el suelo, capturar nutrientes y agua para la planta.

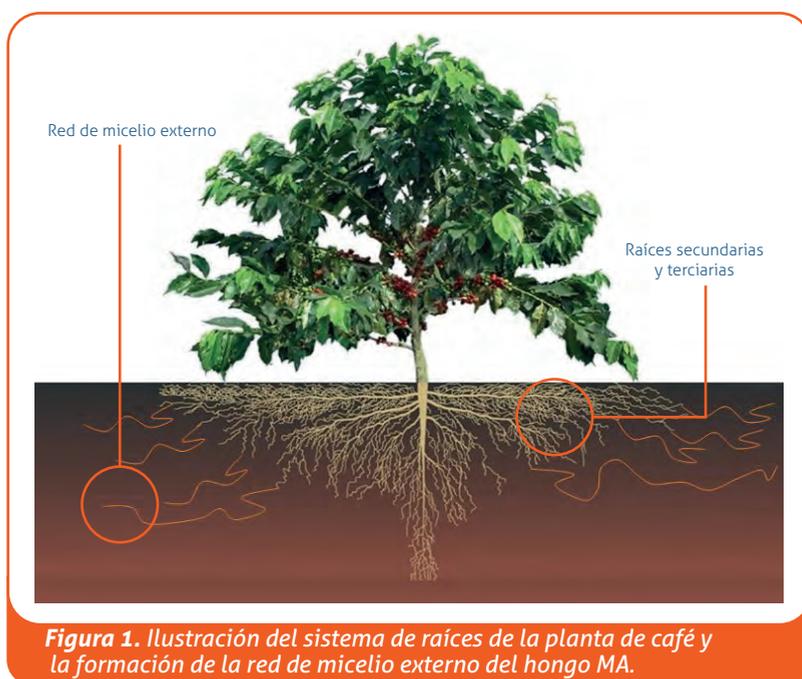
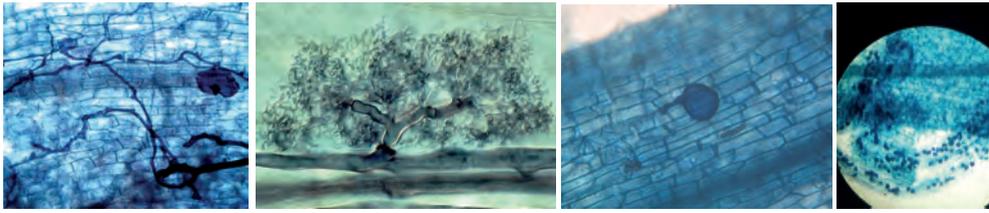


Figura 1. Ilustración del sistema de raíces de la planta de café y la formación de la red de micelio externo del hongo MA.

Las micorrizas arbusculares son capaces de crecer y extenderse dentro de las raíces sin causar síntomas de una enfermedad, por medio de unas estructuras llamadas hifas (Figura 2a) para formar arbuscúlos y vesículas. Por el contrario, con el micelio externo, el hongo es capaz de extenderse más allá de la zona de raíces de las plantas con la función de explorar el suelo en la captura de nutrientes, en especial el fósforo. Estos hongos forman arbuscúlos al interior de las raíces, con los cuales mantiene un intercambio bioquímico con la planta (Figura 2b). Las vesículas (Figura 2c) son estructuras donde se almacenan sustancias de reserva. Finalmente, estos hongos producen esporas que son células reproductoras, que permiten la dispersión y supervivencia del hongo por largo tiempo, como se presenta en la Figura 2d (Jaramillo, 2011).



a.

b.

c.

d.

Figura 2. Micorrizas arbusculares. **a.** Hifas al interior de la raíz; **b.** Arbúsculo (Peterson et al., 2004); **c.** Vesícula; **d.** Esporas.

Las micorrizas arbusculares pertenecen a un grupo de hongos habitantes naturales del suelo dentro de la división taxonómica *Glomeromycota*, que se compone de cinco órdenes diferentes, 15 familias, 38 géneros, entre los que se destacan *Acaulospora* spp., *Gigaspora* spp., *Glomus* spp., *Sclerocystis* spp. y *Scutellospora* spp., con aproximadamente 280 especies dentro de ellos (Jobim y Goto, 2016).

Mecanismo de colonización de las micorrizas arbusculares

Las MA se propagan en el suelo, principalmente mediante tres formas que se diferencian en su capacidad de supervivencia y potencial de colonización: 1) las esporas son las estructuras reproductivas y de resistencia de estos hongos; 2) los fragmentos de raíces micorrizadas de plantas preexistentes y, 3) las redes de hifas que sobreviven en el suelo. Estos propágulos, pueden mantener su capacidad de colonización incluso tras permanecer en el suelo seco durante varios meses. Cuando el hongo encuentra una raíz susceptible de colonizar, se generan señales químicas y estímulos que producen abundante ramificación del micelio del hongo, aumentando así las posibilidades de contacto con la raíz. Los sitios más habituales de penetración son los lugares más activos de la raíz; las MA no penetran por heridas ni colonizan raíces muertas, tampoco son patógenas o dañinas a las raíces (García, 2006).

Funciones de las micorrizas arbusculares

Son diversos los beneficios de la asociación simbiótica entre las MA y las plantas (Cano, 2011), tales como:

- Incremento en la superficie de absorción de agua y de nutrimentos.
- Incremento de la vida útil de las raíces absorbentes.
- Mejoramiento de la absorción de nutrientes y acumulación eficiente, especialmente, en el caso del fósforo.
- Solubilización de minerales que se encuentran en el suelo, facilitando su absorción por las raíces.
- Aumento de la capacidad fotosintética de la planta.
- Incremento de la tolerancia de las plantas a toxinas del suelo y a valores extremos de acidez del suelo.
- Disminución en el estrés causado por factores ambientales.

Las MA constituyen un valioso recurso natural involucrado en numerosos servicios ecosistémicos, entre los que destacan aquellos presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales funciones de la simbiosis entre plantas y micorrizas(*).

| Funciones | Servicios Ecosistémicos Que Proveen |
|--|--|
| Modifican la morfología de la raíz desarrollando una red de micelio en el suelo. | Incremento en el sistema planta/suelo en la adhesión y estabilidad del suelo (acción de agregar y mejorar la estructura del suelo). |
| Secretan "glomalina", una sustancia capaz de aglutinar minerales y materia orgánica, aportando en la estabilidad de agregados, e infiltración de agua en el suelo. | Aumento en la estabilidad del suelo y retención de agua. |
| Captan el carbono que proviene de la planta, a la vez que incrementan la captación de minerales | Promueve el crecimiento de las plantas y reducen el requerimiento de aplicación de fertilizantes. |
| Moderan los efectos contra el estrés causado por factores abióticos (agua, luz, temperatura, etc). | Incremento de la resistencia de las plantas a la sequía, salinidad, metales pesados, contaminación y deficiencia de nutrimentos minerales. |
| Protegen la raíz contra el ataque de patógenos | Incremento en la resistencia de la planta contra el estrés causado por factores bióticos. |
| Modifican la fisiología y el metabolismo de las plantas. | Protección y conservación de la biodiversidad |

(*) (Neri y Villarreal, 2012).

Importancia de las micorrizas arbusculares en sistemas productivos de café

Las micorrizas arbusculares favorecen el crecimiento y nutrición de las plantas de café y su capacidad para disminuir la interferencia por arvenses agresivas o malezas (França *et al.*, 2016). También, las MA en interacción con bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos solubilizadores de fosfatos favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas y se incrementa la concentración de fósforo (P) en el tejido vegetal (Ibarra *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2018).

Las MA incrementan la captación de nutrientes para la planta desde el suelo, donde la planta suministra al hongo carbohidratos para su metabolismo y el hongo facilita los nutrientes que la planta requiere, en ambientes donde la disponibilidad de estos nutrientes es restrictiva para el crecimiento vegetal, especialmente el fósforo (Gómez y Villate, 2010).

El fósforo es un elemento inmóvil en el suelo, y entre 95% y 99% del fósforo del suelo no está disponible para las plantas, de allí la importancia de las MA para su absorción. La adición de cantidades bajas de fertilizante fosfatado es compatible e incluso beneficia la simbiosis con la MA, ya que estimula el crecimiento de la raíz en su búsqueda, pero al incrementar la dosis se comienza a interferir la formación de la simbiosis, llegándose incluso a la inhibición de la colonización (Guerra, 2008).

Por ello, es importante disponer de un análisis de suelos para conocer la cantidad y disponibilidad de los diferentes nutrientes para el café, de tal manera que no se apliquen

cantidades excesivas de fósforo en el suelo, donde existe una disponibilidad natural para su captación por parte de las MA, lo cual haría que no solo se incurrieran en costos innecesarios, sino en factores adversos para la permanencia de estos hongos en el suelo.

Las MA también son capaces de transferir nitrógeno (N) del suelo circundante a la planta mediante su absorción, donde prefieren como fuente de N al amonio (NH_4^+) frente al nitrato (NO_3^-); además, son capaces de absorber y transferir a la planta micronutrientes tales como zinc (Zn) y cobre (Cu) (García, 2006).

Las MA mejoran la sanidad de las plantas dado que pueden aumentar la tolerancia al ataque de patógenos mediante la conservación de la funcionalidad de la raíz durante la infección, y pueden compensar la pérdida de biomasa de las raíces mediante el crecimiento de las hifas del hongo en el suelo, al incrementar la superficie de absorción de las raíces. Se ha observado una competencia por el mismo espacio de la raíz, entre las MA y los patógenos de las raíces, y se ha detectado un incremento en ciertos compuestos involucrados en los mecanismos de defensa de la planta: fitoalexinas, compuestos fenólicos, aminoácidos, actividades enzimáticas de quitinasas, glucanasas y peroxidasas. Las MA también pueden inducir algunas reacciones de defensa en la planta, que implicarían la producción de metabolitos tóxicos para los hongos patógenos en los lugares de penetración, o la síntesis de compuestos que inhiben el desarrollo del patógeno y su infección (Peterson, 2010).

Plantas de café de la variedad Colombia inoculadas con las MA *Entrophospora colombiana*, *Glomus manihotis* y la bacteria *Burkholderia cepacia*, no permitieron que las raíces fueran atacadas por la llaga negra *Rosellinia bunodes* en la etapa de almácigo, y además evidenciaron un mayor crecimiento de las plantas de café (Castro y Rivillas, 2002). Similarmente, las plantas de café de variedad Caturra y una línea resistente a la roya, inoculadas tempranamente con las MA *Glomus manihotis* y *Glomus fasciculatum* presentaron una disminución de la severidad de la enfermedad de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke) con respecto a las plantas que no tenían las MA (Guzmán y Rivillas, 2008).

De igual forma, las MA ayudan a reducir los efectos de los daños por nematodos. Plantas de café inoculadas con siete especies de MA nativas aisladas de cafetales en México e inoculadas posteriormente con estados juveniles y huevos del nematodo fitopatógeno *Meloidogyne incognita*, presentaron un menor volumen de raíces afectadas, las plantas se observaban aparentemente sanas y vigorosas en la parte aérea, y aunque el nematodo penetró en la raíz y la dañó, las hifas de las MA permitieron el paso de nutrimentos y así la planta logró su desarrollo. Las plantas de café micorrizadas en presencia de nematodos tuvieron desarrollo similar a las plantas sanas (Trejo, Ferrera, Sangabriel y Baeza, 2018).

Establecimiento de germinadores de café con MA

Es de especial cuidado desde el germinador el desarrollo de una raíz sana, ya que es el único órgano no renovable de la planta. La raíz es fundamental en el crecimiento, anclaje y la producción del café, pero a la vez, es el órgano más susceptible a patógenos del suelo como el hongo *Rhizoctonia solani* que causa el volcamiento *Damping-off* o mal del tallito, ocasionando la muerte de la plántula,

además de la presencia de otros patógenos como llagas radicales (*Rosellinia* spp.) del suelo que atacan las raíces desde etapas tempranas del cultivo (Gaitán y Rivillas, 2013).

Se entiende por inoculación introducir un ser vivo dentro de otro para brindarle mejores condiciones de vida a uno u otro; en muchas ocasiones ambos se benefician mutuamente (Pérez y Ortiz, 2015).

La inoculación de las MA en la etapa de germinador se realiza depositando el inóculo a 3,0 cm por debajo del nivel de las semillas con el fin que al germinar sus raíces entren en contacto con los propágulos del hongo (Rivillas, 2003). La inoculación de semillas de café en diferentes estados de desarrollo y en diversos sustratos con la endomicorriza *Glomus manihotis* mostró que es una actividad que repercute para las plantas de café en una fase posterior a la de germinador. Esta inoculación temprana de las MA genera efectos positivos para las plantas de café en una fase posterior a la del germinador, y la colonización por las MA se incrementa en la medida que avanza el crecimiento y desarrollo de la raíz¹.

Incorporación de micorrizas arbusculares en la etapa de almácigo

Durante la etapa inicial de crecimiento de una planta de café es mayor el desarrollo de la raíz que la parte aérea, tendiendo a invertirse a medida que avanza el desarrollo de la planta, ya que se aumenta la parte aérea con relación a la raíz (Flórez, Ibarra, Gómez, Carmona, Castaño y Ortiz, 2013).

La etapa de almácigo ofrece el mejor período de tiempo para la incorporación o inoculación con micorrizas arbusculares en las plantas de café.

Los primeros efectos positivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas de café se observan a partir de los tres meses después de la inoculación (Rivillas, 2003). Al realizar la inoculación de las MA desde el trasplante o establecimiento de la chapola en la bolsa, permite que el hongo se establezca y logre colonizar progresivamente las raíces de la plántula de café, para que cuando las plantas se lleven al sitio definitivo en el campo ya estén protegidas y en capacidad de continuar el proceso de colonización y expansión en la rizosfera del suelo. Es decir, plantas de café con una mayor capacidad de adaptación al entorno específico donde se establecerán.

Por ejemplo, la inoculación de las especies nativas de MA *Glomus manihotis*, *Glomus fistulosum* y *Entrophospora colombiana* en plantas de café durante el almácigo produjo crecimiento comparable a los obtenidos con la adición de compuestos orgánicos, como lombricompost, pulpa de café, cenichaza y gallinaza. Plantas de las variedades Caturra y Colombia inoculadas con las MA *Acaulospora tuberculata*, *Glomus manihotis*, *Glomus mosseae* y *Scutellospora heterogama* mostraron el efecto positivo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, donde *Glomus manihotis* se comportó mejor, favoreciendo el crecimiento de las plantas y del sistema radical, seguida por *Scutellospora heterogama* (Rivillas, 2003).

¹Rivillas O, C.A. 2003. Aislamiento y funcionalidad de las micorrizas arbusculares en la zona cafetera colombiana. Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. P:1-6.

¿Cuál es la dosis o cuánto inóculo de micorriza debe aplicarse en chapolas de café?

Para cada planta o chapola de café pueden aplicarse entre 5,0 y 10,0 g de producto o inóculo nativo por planta por bolsa de 17 x 23 cm (2,0 kg de suelo aproximadamente).

En el caso de formulaciones comerciales registradas, que cuenten con suficiente información y respaldo experimental, debe atenderse lo que indique la etiqueta del producto y la recomendación del Servicio de Extensión. La cantidad de inóculo depende también de la calidad del mismo y de la concentración de esporas por gramo de suelo, por lo que es importante revisar la información que proporciona el productor comercial, en cuanto al origen o procedencia de los inóculos nativos que estén disponibles, así como las licencias sanitarias y de registro que certifiquen la calidad y legalidad de los mismos.

¿Cómo se inocula una micorriza en chapolas de café?

- Para inocular las MA directamente sobre las raíces de las chapolas de café se necesita en primer lugar hacer los orificios en el suelo, lo suficientemente profundos para que las raíces no se doblen al introducirla, o si es del caso cortar cuidadosamente el extremo sobrante de la raíz.
- Posteriormente, el inóculo de 5,0 a 10,0 g de la MA se deposita en el orificio, se tapa con suelo y se aprieta para asegurar que haga contacto con las raíces y no queden espacios de aire que luego afecten el desarrollo de la raíz. El contacto del inóculo de la MA con las raíces de la planta es fundamental para facilitar una rápida y buena colonización de la micorriza.

¿Cuánto tiempo tardan las micorrizas arbusculares en colonizar?

Las micorrizas arbusculares pueden tardar entre 5 y 12 días en colonizar las raíces (Pérez y Ortiz, 2015).

¿A qué edad de la planta deben aplicarse las micorrizas arbusculares?

La mejor edad para inocular plantas de café se presenta en la etapa de almácigo, entre más jóvenes estén las plantas, mayor será el efecto al disponer de hongo que está colonizando las raíces aún en crecimiento.

¿Cuál es la mejor época del año para incorporar las micorrizas?

La incorporación o inoculación obedece a la programación que se determine para el establecimiento del almácigo de café, cuando se proyecta la siembra en el campo, para ello es importante consultar las épocas recomendables para la siembra de café en Colombia como lo indica Jaramillo (2016).

¿Cuáles son las condiciones del suelo más adecuadas para la incorporación de las MA?

Para facilitar el manejo, inmediatamente se hayan inoculado las raíces con las MA, debe humedecerse el suelo contenido en las bolsas para almácigo, para proporcionar un medio lo suficientemente adecuado para el desarrollo de ambos. Los riegos que se realicen posteriormente obedecerán a las condiciones que en su momento se presenten en la zona (épocas secas o lluviosas), considerando siempre mantener los suelos sin sobresaturación de agua, pues tanto las MA como las plantas de café toleran mejor ambientes secos o ligeramente húmedos.

Para la incorporación de las MA en la etapa de almácigo es importante conocer la calidad química y física del suelo que se planea utilizar en el llenado de las bolsas. Es fundamental disponer de un análisis de suelos para verificar sus propiedades químicas y físicas en cuanto al pH, materia orgánica (MO), fósforo (P), nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y la textura del mismo. Si los valores están dentro de los rangos normales para café no es absolutamente necesaria la adición de compuestos orgánicos (pulpa de café, lombricompost, gallinaza etc), para enriquecer el sustrato, ya que el mismo suelo es capaz de suplir los nutrientes a las plantas en esta etapa; solo se incorporaría el inóculo. Una característica de las MA es que actúan mejor en suelos deficientes o pobres en nutrientes, ya que estimulan la extensión de la red de micelio en el suelo para capturar nutrientes, cuando éstos ya se encuentran agotados en la zona de raíces de la planta.

Altos niveles de materia orgánica podrían actuar como inhibidor del efecto benéfico de la simbiosis (Alarcón y Ferrera, 1999). Por lo tanto, las MA son eficaces para incrementar la captación de nutrientes, particularmente fósforo y de este modo promover la acumulación de biomasa de muchos cultivos, en suelos que contienen bajo contenido de fósforo (Guerra, 2008).

Duración y conservación de una micorriza arbuscular en el suelo

La duración en términos biológicos puede ser indefinida, pero dependerá que existan los medios que necesita para sobrevivir: i) un suelo donde puedan expandirse y ii) una planta para colonizar. Pero los factores que pueden afectar la estructura y diversidad de las comunidades de MA son las poblaciones de otros microorganismos del suelo, la fertilización excesiva principalmente con fosfatos, el uso no controlado de fungicidas y herbicidas que pueden disminuir o hasta desaparecer el potencial micorrízico del sistema, y las prácticas agrícolas como la tala de bosques, fuego y labranza excesiva (Viasus, 2015).

Adicionalmente, el uso de fungicidas puede alterar la fisiología de la simbiosis, en especial los fungicidas sistémicos, por lo que es recomendable utilizarlos en las dosis recomendadas y solo cuando sea estrictamente necesario, de acuerdo con la recomendación de un ingeniero agrónomo.

Así mismo, la aplicación de nematicidas en altas dosis puede afectar la colonización micorrízica, el uso de ellos en dosis intermedias o bajas, además de evitar el daño por nematodos, no debería afectar la funcionalidad y efectividad de los hongos micorrízicos (Alarcón y Ferrera, 1999). Sin embargo, actualmente en Colombia no se dispone de una recomendación de aplicación de nematicidas de síntesis química para cultivos de café en el campo de forma curativa, y solamente se recomienda el uso de productos biológicos basados en los hongos *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces lilacinus* aplicados de forma preventiva al suelo al momento del trasplante de la chapola (Gaitán, Rivillas y Salazar, 2013).

El manejo racional e integrado de arvenses con la aplicación de herbicidas de síntesis química, favorece no solo la convivencia con otras especies de plantas que también son colonizadas por la MA, y no se afectan drásticamente en forma directa a las comunidades microbianas entre ellas a las micorrizas.

Importancia de utilizar micorrizas arbusculares nativas

La selección de microorganismos nativos de la región es indispensable para que existan mayores posibilidades de establecimiento y multiplicación de los mismos en el suelo. Esto se fundamenta en el hecho que la diversidad funcional de las MA puede depender de la procedencia de los aislamientos, más que de la especie del hongo como tal. Del mismo modo, variantes o morfotipos de la misma especie de MA, recolectados de diferentes sitios confieren diferentes beneficios fisiológicos a la misma especie de planta hospedante (López, Alarcón, Quintero y Lara, 2015). Tal adaptación de las MA les otorga la capacidad de desarrollarse en ambientes específicos de alta o baja fertilidad, tipo de textura del suelo, en ambientes o entornos condicionados al clima de la zona o de la región.

Micorrizas arbusculares versus fertilización

Las micorrizas arbusculares no sustituyen la fertilización de un cultivo. La planta de café al igual que cualquier otro ser vivo necesita nutrirse para crecer, desarrollarse y expresar su máximo potencial productivo. El medio que sustenta la nutrición es el suelo, sea natural o por adición de fertilizantes, y es allí donde las micorrizas arbusculares mejoran la "captura" de nutrientes para la planta.

Calidad y tipo del inóculo de MA a incorporar

Una de las presentaciones más comunes en el mercado son formulaciones de MA preparadas en suelo estéril, cuyos contenidos de esporas, micelio y fragmentos de raíces colonizadas constituyen el conjunto de propágulos más reproducidos. El inconveniente radica en los altos volúmenes de producción de inóculo que se requieren para aplicar micorrizas a los almácigos comerciales de cientos o miles de plantas.

Se acepta que fragmentos de raíces micorrizadas son el inóculo más efectivo, pero las esporas aisladas, por su capacidad de supervivencia y mayor tolerancia a las situaciones adversas, son las principales responsables de perpetuar las MA en suelo y en la planta. El inoculante se entiende como aquel producto que posibilita la introducción de microorganismos, en este caso de las MA. Para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas, puede tener diferentes presentaciones, ya sea líquido o sólido en los que se utilizan sustratos como la turba, el carbón activado, aceites, alginatos y otros soportes orgánicos e inorgánicos (Viasus, 2015). Existen numerosos desarrollos en la producción de inóculos de MA comercialmente en el mercado, para todos ellos hay ventajas y desventajas asociadas. También se registran formulaciones o presentaciones de MA en geles como medio semilíquido para transportar las esporas, caracterizado por ser un medio inocuo y libre de patógenos, formulaciones de esporas en arcillas muy finas y comprimidos (pastillas), entre otros.

Cualquier tipo de producto o inóculo comercial debe contar con los registros y permisos vigentes de las autoridades colombianas como el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), en algunos casos las licencias de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), entre otros, para su producción, importación, comercialización o distribución.

Siempre debe garantizarse la calidad física, química, sanitaria y biológica del producto, además de la inocuidad, en términos de ausencia de otros patógenos o contaminantes no deseados para los cultivos.

Parámetros indispensables para la selección de un hongo micorrízico efectivo

Una vez establecida la simbiosis con las MA, el cultivo actúa como facilitador de la esporulación o reproducción del hongo, siendo esta etapa muy importante para su posterior preservación. Los factores que más pueden afectar de forma negativa el desarrollo del hongo, especialmente en la etapa de esporulación, son la fertilización excesiva, el pH, la temperatura del suelo y la cantidad de agua disponible. Los parámetros indispensables para la selección de un hongo micorrízico efectivo son (Suárez, 2001):

- Habilidad para colonizar, absorber y transportar fósforo (P) del suelo hasta la planta.
- Habilidad para incrementar el crecimiento y desarrollo de la planta mediante una relación estable.
- Habilidad para persistir en el suelo (si es requerido) y producir propágulos.
- Habilidad para soportar los métodos de producción a gran escala y que los propágulos resistan y sobrevivan por tiempo prolongado.

Micorrizas arbusculares en sistemas productivos de café en el departamento del Huila (2016 – 2019)

En Colombia se han obtenido importantes logros en café con las MA, determinándose no solo una alta dependencia del café por las MA, sino también una alta diversidad al encontrarlas de forma nativa en los suelos cafeteros en distintas zonas (Rivillas, 2003). Con el propósito de contribuir al conocimiento de la diversidad y funcionalidad de las MA en el cultivo de café en el departamento del Huila, se describen cuatro etapas que se desarrollaron para la subactividad Microbiota, en el marco del convenio *“Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo de café ajustado a las condiciones particulares de la caficultura del Huila”*, en la búsqueda y selección de inóculos promisorios para sistemas de producción de café en el departamento.

Muestras de campo para la obtención de micorrizas

La búsqueda de inóculos nativos de micorrizas arbusculares implicó el análisis de los sistemas de producción, el manejo agronómico y el clima, los cuales son claves en la diversidad, distribución y efectividad de estos hongos en el suelo.

Se destacan la altura sobre el nivel del mar, la precipitación, la pendiente del terreno, la edad del cultivo y la variedad de café sembrada para la totalidad de fincas muestreadas en la zona cafetera del departamento. Todos los análisis se realizaron soportados por las bases de datos del Sistema de Información Cafetera (SIC@), los registros y análisis de los Ecotopos Cafeteros, la Red Meteorológica Cafetera de la FNC y de la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé.

Se seleccionaron 105 lotes de café representativos de las seis Zonas Agroecológicas (ZAE), en los 35 municipios cafeteros del Huila, y para cada municipio se seleccionaron tres lotes en diferentes áreas (Figura 3).

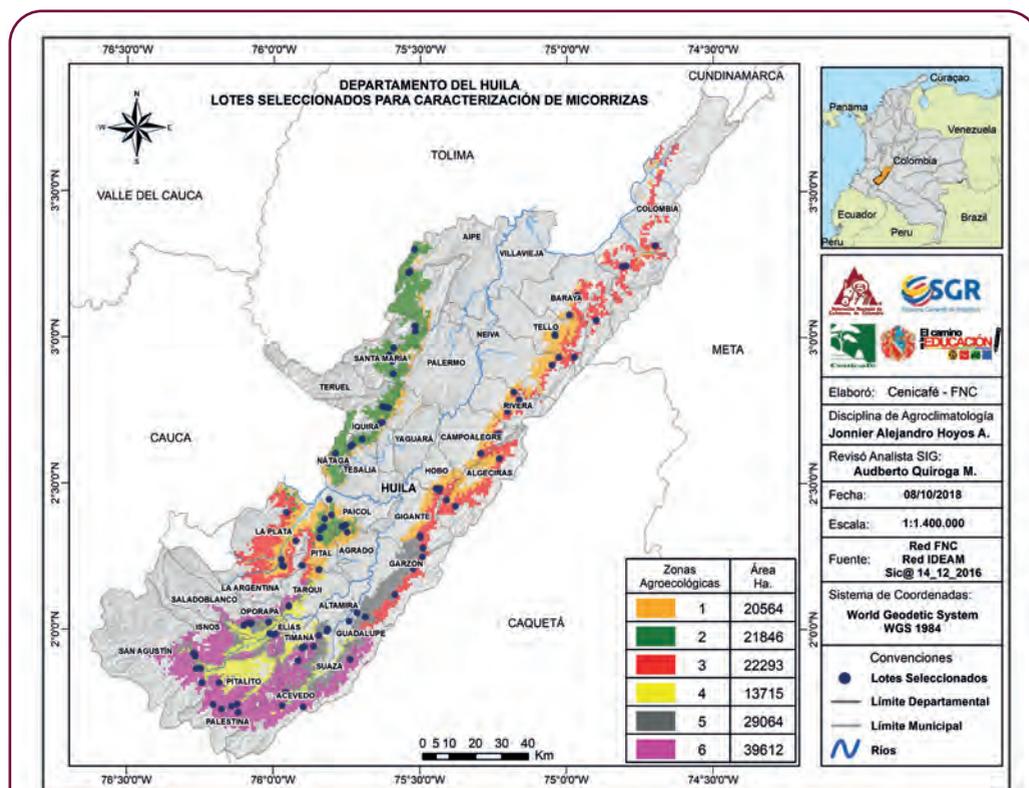


Figura 3. Distribución de lotes muestreados para las seis zonas agroecológicas del departamento del Huila (Fuente: Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé).

Los muestreos en el campo consistieron en tomar submuestras de suelo con raíces a una distancia de 20, 30 y 50 cm alrededor del tallo del árbol de café, a una profundidad constante de 20 cm a partir de la base del tallo del árbol, para formar por cada árbol nueve submuestras (Figura 4a). En total se obtuvieron 270 submuestras para 30 árboles o sitios en lotes iguales o superiores a una hectárea y 180 submuestras para 20 árboles o sitios en lotes inferiores a una hectárea. Finalmente, se obtuvieron 19.890 submuestras en los 105 lotes de café visitados en esta investigación en el Huila. La Figura 4b ilustra el procedimiento llevado a cabo en el árbol para los muestreos, donde se obtuvo una muestra compuesta por lote de aproximadamente 7,0 kg de suelo.

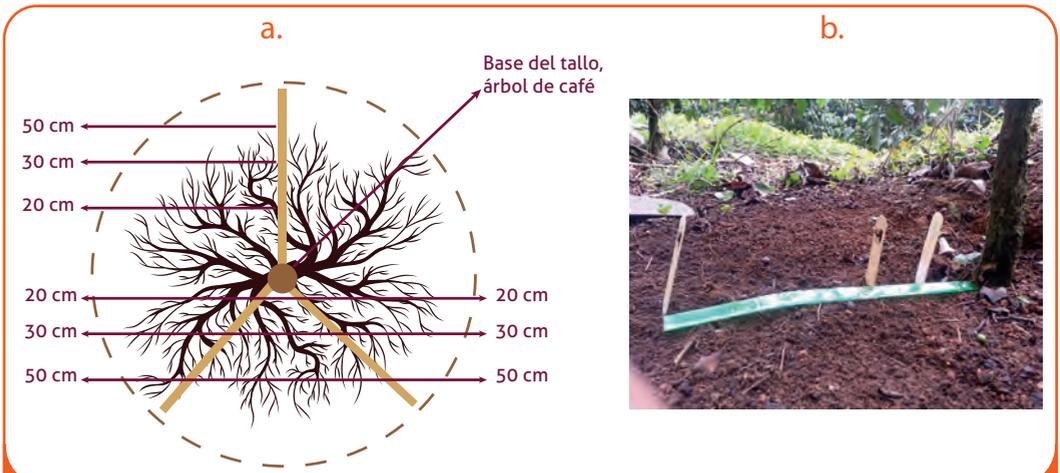


Figura 4. Toma de muestras de suelos. a. Esquema representativo de las distancias definidas desde la base del tallo de una planta de café para la toma de submuestras; b. Sitios trazados sobre el suelo en una planta de café en el campo, para la toma de submuestras para el aislamiento de MA.

En el laboratorio de micorrizas de Cenicafé se procesaron todas las muestras de suelo con raíces, empleando técnicas específicas para la extracción de esporas por gradiente de sucrosa (Figura 5a) y la tinción de raíces con azul de tripano (Figura 5b).



Figura 5. Métodos de laboratorio para la evaluación de micorrizas. a. Extracción de esporas de MA de suelos nativos con solución de azúcar al 75%, para conteo expresado en número de esporas por 100 g de suelo; b. Proceso de tinción de raíces de café para determinar el porcentaje de colonización de las MA.

El proceso de tinción de raíces permitió visualizar al microscopio, las estructuras de colonización de los hongos MA (vesículas, arbuscúlos, micelio inter e intracelular, esporas). Para la totalidad de muestras de suelo procesadas se evidenció una alta diversidad de MA asociadas a la rizosfera de plantas de café, encontrando esporas en diferentes estados de desarrollo, pertenecientes a diferentes géneros.

En la Tabla 2 se presentan los valores máximos y mínimos encontrados en el número de esporas por 100 g de suelo y en el porcentaje de colonización en fragmentos de raíces de café en las muestras originales tomadas en el campo. Es importante considerar

que los efectos de la colonización no se deben a un solo hongo, sino a la interacción de varios de ellos que pueden estar asociados o compitiendo por los espacios en la raíz. La variabilidad observada es un indicativo de la presencia, diversidad y actividad de las MA en los procesos de colonización interna de las raíces de las plantas de café en el campo, en los diferentes lotes, en los 35 municipios del departamento de Huila.

Tabla 2. Valores máximos y mínimos de la cantidad de esporas nativas de MA y porcentaje de colonización de raíces de muestras de los 35 municipios del departamento del Huila, agrupados en seis Zonas Agroecológicas.

| Municipio | Zonas Agroecológicas | Esporas (100 g/ suelo) Mínimo - Máximo | Colonización de raíces (%) Mínimo - Máximo |
|--------------|----------------------|---|---|
| Neiva | 1- 3 | 53 - 1.038 | 6 - 13 |
| Acevedo | 4 - 5 -6 | 140 - 708 | 26 - 6 |
| Aipe | 2 | 313 - 608 | 18 - 38 |
| Algeciras | 3 | 245 - 495 | 16 - 27 |
| Altamira | 4 - 5 | 20 - 112 | 15 - 37 |
| Baraya | 1 - 3 | 138 - 760 | 16 - 33 |
| Campoalegre | 1 - 3 | 353 - 548 | 8 - 14 |
| Colombia | 3 | 112 - 765 | 17 - 24 |
| Agrado | 1 - 2 | 10 - 78 | 27 - 36 |
| Pital | 1 - 2 - 3 | 10 - 18 | 17 - 50 |
| Elías | 4 - 6 | 5 - 12 | 26 - 36 |
| Garzón | 3 - 5 | 23 - 37 | 2 - 9 |
| Gigante | 3 - 5 | 142 - 255 | 16 - 27 |
| Guadalupe | 5 | 28 - 65 | 1 - 18 |
| Hobo | 1 | 163 - 287 | 8 - 20 |
| Iquira | 1 - 2 | 33 - 138 | 9 - 26 |
| Isnos | 4 - 5 | 70 - 102 | 18 - 47 |
| La Argentina | 1 | 360 - 1.752 | 8 - 18 |
| La Plata | 1 - 2 - 3 | 337 - 1.017 | 17 - 34 |
| Nátaga | 2 | 1.328 - 1.787 | 8 - 25 |
| Oporapa | 5 - 6 | 20 - 82 | 27 - 49 |
| Palestina | 6 | 232 - 398 | 6 - 21 |
| Paicol | 1 - 2 | 728 - 2.392 | 15 - 25 |
| Palermo | 2 | 315 - 1.213 | 25 - 32 |
| Pitalito | 6 | 100 - 250 | 18 - 46 |
| Rivera | 1 - 3 | 87 - 270 | 23 - 33 |
| Saladoblanco | 5 | 23 - 77 | 27 - 44 |
| San Agustín | 4 - 6 | 117 - 513 | 25 - 35 |
| Santa María | 2 | 270 - 357 | 12 - 23 |
| Suaza | 6 | 232 - 732 | 13 - 44 |
| Tarqui | 4 - 5 | 47 - 58 | 1 - 29 |
| Tello | 1 | 190 - 320 | 13 - 29 |
| Teruel | 2 | 73 - 413 | 12 - 38 |
| Tesalia | 1 - 2 | 85 - 318 | 19 - 37 |
| Timaná | 5 - 6 | 13 - 105 | 19 - 51 |

La cantidad de esporas y colonización de raíces también indican de forma general la posibilidad de encontrar diferentes tipos de inóculos promisorios para los diversos ambientes, manejos y tipos de suelos en el Huila, así como el potencial existente. Se reafirma la bondad y la presencia de las MA en todos los sistemas de producción y cultivos de café muestreados y en todos los suelos recolectados.

¿Cómo se realiza el incremento de inóculos nativos?

Constatada la presencia de MA en todas las muestras de suelo con raíces, se incrementaron los inóculos nativos, utilizando cultivos trampa en dos especies de plantas de fácil consecución y acceso para los agricultores como son el pasto braquiaria (*Brachiaria decumbens Stapf.*) y el kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth). Estas plantas al ser micotróficas obligadas (sin ser las únicas) necesitan de las MA para su adecuado desarrollo y crecimiento, y sirven de hospedantes alternos para incrementar los inóculos de esporas y propágulos de estos hongos, de forma rápida y en poco espacio en invernaderos. Para asegurar solamente el incremento de las MA nativas provenientes de los suelos muestreados, se esterilizó una parte de los suelos nativos sometiéndolos a altas temperaturas en autoclave. Posteriormente, se utilizaron materos de 2,0 kg en los cuales se dispuso una primera capa de suelo esterilizado, adicionando una capa de 50,0 g de suelo nativo sin esterilizar, y agregando finalmente otra capa de suelo nativo esterilizado para inducir la esporulación de los diferentes géneros de micorrizas arbusculares presentes en dichos suelos y finalmente sembrar las semillas de kudzú tropical y pasto braquiaria (Figura 6).

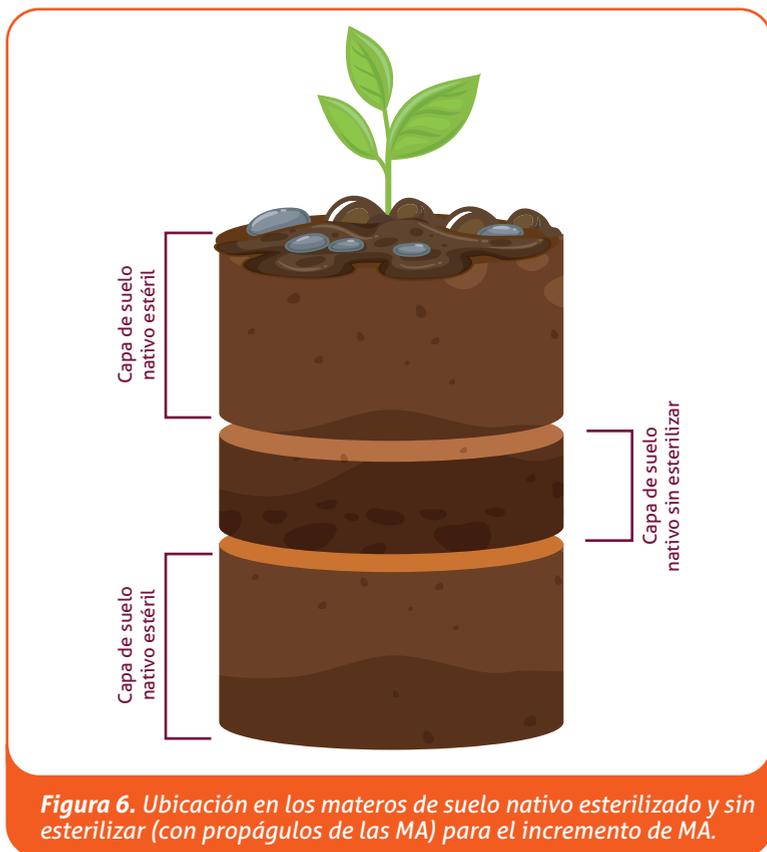


Figura 6. Ubicación en los materos de suelo nativo esterilizado y sin esterilizar (con propágulos de las MA) para el incremento de MA.

Para el establecimiento de los cultivos trampa, se realizaron los procedimientos generales que se utilizan para la siembra de materiales por semilla (Figura 7a), los cuales abarcan desde la consecución de las semillas, su lavado, proceso de germinación, siembra de las semillas germinadas en los materos y los cuidados que deben tenerse con los riegos, utilizando fuentes de agua de calidad, con el monitoreo de las plantas para evitar la presencia de arvenses, insectos plagas y de posibles enfermedades (Figura 7b). Igualmente, debe realizarse un manejo rutinario de estas plantas con la poda de la parte aérea cada 30 días. Después de 6 a 9 meses de establecidos los cultivos trampa se procede a su evaluación removiendo las plantas de sus materos, eliminando la parte aérea de las plantas y cortando las raíces en fragmentos pequeños para mezclarlas con el suelo (Figura 7c). Finalmente, se realizan los muestreos y la evaluación de cada uno de los materos para determinar la cantidad de esporas producidas y la colonización de las raíces del hospedante (Figura 7d).



Figura 7. Establecimiento de cultivos trampa para la multiplicación de micorrizas arbusculares. a. Semillas germinadas de kudzú tropical *Pueraria phaseoloides* (leguminosa) y del pasto braquiaria *Brachiaria decumbens* (gramínea); b. Estado de cultivos trampa de kudzú tropical (derecha) y del pasto braquiaria (izquierda), para el aislamiento e incremento de micorrizas arbusculares en el vivero o casa de mallas; c. Plantas de kudzú tropical (derecha) y de pasto braquiaria (izquierda), procesadas para la evaluación del contenido de esporas. Plantas con muestras del municipio de Acevedo; d. Esporas nativas de MA incrementadas en pasto braquiaria y kudzú tropical.

¿Cómo se incrementan los inóculos puros de MA?

Con las MA en cultivos trampa se seleccionaron aquellas esporas que, por características morfológicas en cuanto a forma, color, tamaño, número de paredes y textura de la superficie eran contrastantes para formar inóculos puros (Figura 8a). De este modo se conformaron 143 cultivos puros o multiespóricos, los cuales se sometieron a incrementos en plantas de *Brachiaria decumbens* y *Pueraria phaseoloides* (Figura 8b). Para este caso, las plántulas se inocularon directamente en su sistema de raíces con las esporas nativas purificadas que se separaron por grupos similares u homogéneos.

Al tratarse de un cultivo puro, el suelo donde se va a establecer el cultivo debe pasteurizarse, para lo cual es necesario someterlo a temperaturas de 90°C por períodos de cuatro horas, mediante inyección de vapor de agua caliente desde una caldera, en ambiente cerrado.

En el caso de no contar con infraestructura para pasteurizar el suelo, se han adoptado prácticas de solarización en la finca, disponiendo capas delgadas de 20 a 30 cm de espesor de suelo sobre un piso de concreto o madera, desintegrando los terrones más gruesos. Luego, se cubre con plástico preferiblemente negro o translúcido, sellando los bordes de la era de suelo, pisando el borde con una hilera de suelo, ladrillos o troncos, para mantener hermético el sistema, sin romperse ni dejar entrar lluvia ni agua. De esta forma, durante el día, la radiación del sol calienta el plástico y el suelo, se incrementa la temperatura, se genera el vapor de agua caliente por encima de los 50 a 60°C durante el día que luego se enfría en la noche, lo cual va reduciendo progresivamente la mayor parte de microorganismos. Este proceso se mantiene durante 30 a 45 días dependiendo de las temperaturas, se voltea y revuelve el suelo y se repite otras dos veces, para un tiempo de solarización de dos a tres meses. Al final, el suelo seco solarizado se empaqueta en costales o bolsas limpias, para que no se vuelva a contaminar.

El resto del procedimiento de aclimatación, cultivo, mantenimiento y evaluación de los cultivos puros en el vivero es igual al descrito anteriormente (Figura 7b).



Selección de inóculos de MA con mayor potencial para el departamento del Huila

A partir de la evaluación de los porcentajes de colonización y de la producción de esporas en el suelo de los cultivos multiespóricos establecidos en los viveros, se preseleccionaron 17 cultivos puros, y de allí quedaron finalmente 13, como los más promisorios para ser evaluados en pruebas de efectividad biológica en plantas de café (Tabla 3). La primera identificación de las esporas de estos cultivos correspondió a los géneros de MA *Acaulospora* spp., *Entrophospora* spp., *Sclerocystis* spp y *Glomus* spp., los cuales ya habían sido registrados como MA asociadas a cultivos de café y donde algunas de ellas ya habían mostrado efectos positivos en investigaciones previas de Cenicafé (Castro y Rivillas, 2002; Rivillas, 2003; Guzmán y Rivillas, 2008).

Tabla 3. Inóculos nativos puros de MA seleccionados a partir de la evaluación de cultivos multiespóricos obtenido en los diferentes municipios y zonas agroecológicas (ZAE).

| Municipio | Número de identificación Espora | ZAE | Esporas (100 g/ suelo) | | Colonización de raíces (%) | |
|--------------|---------------------------------|-----|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | | | <i>Brachiaria decumbens</i> | <i>Pueraria phaseoloides</i> | <i>Brachiaria decumbens</i> | <i>Pueraria phaseoloides</i> |
| Tarqui | 4 | 4 | 15.767 | 17.260 | 4 | 8 |
| Garzón | 16 | 5 | 40 | 12.573 | 0 | 68 |
| | 18 | 3 | 1.820 | 3.467 | 1 | 4 |
| Elías | 26 | 4 | 0 | 1.820 | 0 | 0 |
| Timaná | 28 | 5 | 7 | 1.153 | 0 | 15 |
| Isnos | 32 | 5 | 0 | 6.907 | 0 | 37 |
| Palestina | 36 | 6 | 0 | 2.300 | 0 | 33 |
| San Agustín | 37 | 6 | 20 | 2.193 | 0 | 31 |
| La Plata | 52 | 2 | 20 | 4.593 | 0 | 24 |
| | 54 | 3 | 153 | 2.173 | 0 | 16 |
| La Argentina | 59 | 1 | 0 | 1.787 | 0 | 12 |
| | 59,1 | 1 | 0 | 1.167 | 0 | 27 |
| Colombia | 85 | 3 | 7 | 493 | 0 | 6 |

En la Tabla 3 se presenta el origen de los inóculos puros seleccionados para evaluar en almácigos de café y los resultados de los conteos promedio en el número de esporas producidas, como indicador de la capacidad de las MA de reproducirse en viveros. La colonización es un factor que permite inferir la capacidad del hongo de expandirse al interior de las raíces al observar los diferentes propágulos de colonización (vesículas, micelio interno y arbusculos).

En cuanto al hospedante en la producción de esporas, las plantas de *Pueraria phaseoloides* fueron las más efectivas. La disponibilidad de los inóculos permite el establecimiento de las pruebas de efectividad biológica en plantas de café. La Figura 9 ilustra algunos de los inóculos nativos puros que se evalúan en café, representando las seis zonas agroecológicas del Huila.



Figura 9. Esporas de las micorrizas arbusculares de cuatro de los 13 inóculos nativos puros seleccionados para la evaluación en plantas de café.

El hecho de obtener una alta producción de esporas de MA en el suelo y/o un alto porcentaje de colonización de raíces en las plantas de los cultivos trampa de kudzú tropical o de pasto braquiaria, no garantiza valores similares de colonización o que sean las mejores especies o inóculos para las plantas o cultivos de café. Esto solo puede determinarse mediante pruebas de efectividad en plantas de café en la misma región.

Pruebas de efectividad biológica en plantas de café variedad Cenicafé 1

El propósito fundamental de esta etapa fue evaluar en plantas de café la efectividad biológica de los 13 inóculos puros seleccionados a partir de su incremento en los cultivos multiespóricos, para determinar la capacidad de estos hongos de reproducirse tanto en el suelo como al interior del sistema de raíces del café. De esta forma se busca medir su efecto en el crecimiento, desarrollo y sanidad de las plantas, al compararlas bajo las mismas condiciones con testigos absolutos de plantas de café sin la aplicación de una MA y en iguales condiciones de manejo.

Para establecer las pruebas en el almácigo se tuvieron en cuenta la cantidad de inóculo disponible, la cantidad de suelo estéril o pasteurizado, la dosis de inóculo por bolsa y la disponibilidad de chapolas de café de la variedad Cenicafé 1 seleccionada. Se definió la siembra de 20 plantas de café, que se inocularon con 10,0 g de inóculo compuesto de esporas de la MA aislada y purificada y de suelo con raíces de cada uno de los cultivos puros seleccionados (con MA). En contraste, se establecieron otras 20 plantas de café var. Cenicafé 1 sin inóculo de MA como testigo absoluto (sin MA).

La Figura 10 ilustra de manera general el alistamiento de los materiales para llevar a cabo la inoculación de las MA en plantas de café de la variedad Cenicafé 1. Con base en las épocas recomendadas para la siembra de café en Colombia (Jaramillo, 2016), para la planeación con suficiente anticipación de todas las actividades y recursos, en el caso del departamento del Huila, el material de siembra debe estar listo en el mes de octubre, cuando ya están establecidas las lluvias para su siembra definitiva en el campo, lo cual significa que en el mes de febrero deben de iniciarse las labores para el establecimiento tanto del germinador como del almácigo. Es decir, para el principio de año debe tenerse el inóculo suficiente de las micorrizas arbusculares a utilizar.



Figura 10. Materiales para llevar a cabo la inoculación de las MA en plantas de café. a. Producción y alistamiento de chapolas de café; b. Llenado de bolsas para almácigo; c. Inóculo puro de MA (suelo + raíces); d. Inoculación de la MA en cada chapola; e. Almácigo de café establecido.

Es importante considerar que los suelos utilizados en el almácigo corresponden a los suelos nativos de cada lote de café, de donde proviene cada uno de los inóculos de MA. Estos suelos se pasteurizaron previamente para evaluar su capacidad en la producción de esporas, como la capacidad de las MA seleccionadas en colonizar la raíz, y así determinar la respuesta de la planta en crecimiento y desarrollo.

Evaluación de plantas de café en las pruebas de efectividad biológica de MA

Las pruebas de efectividad biológica en plantas de café se basan en relacionar variables de crecimiento y desarrollo, que permitan entender el efecto que las micorrizas arbusculares ejercen sobre las plantas, al compararlas con testigos sin MA (Figura 11). Para ello, las variables que se midieron fueron: altura de la planta, diámetro del tallo, número total de hojas, número de nudos, ramas ortotrópicas o laterales primarias, número total de ramas, área foliar de la planta, distancia entre nudos, peso fresco y seco de la parte aérea (tallos y hojas), peso fresco y seco de las raíces, número de esporas/10 g de suelo, colonización de raíces (%), análisis foliar (N-P-K-Ca-Mg-Fe).

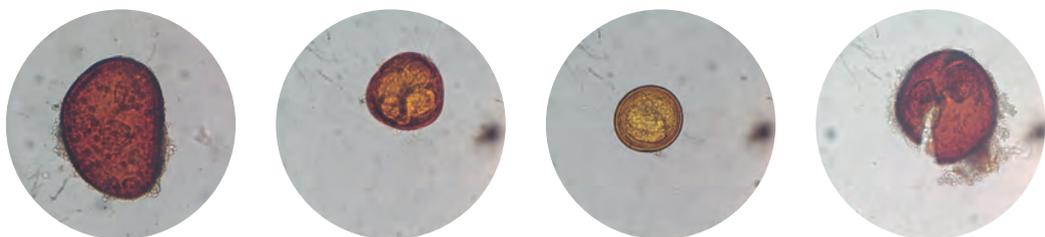




Figura 11. Pruebas de efectividad biológica de la aplicación de micorrizas arbusculares en plantas de café. a. Diferencias en el desarrollo entre dos plantas de café de la variedad Cenicafe 1, con MA (izquierda) y sin MA (derecha), en el municipio de La Plata; b. Almacigo de café con plantas inoculadas con MA (tratamientos) y plantas sin MA (testigos).

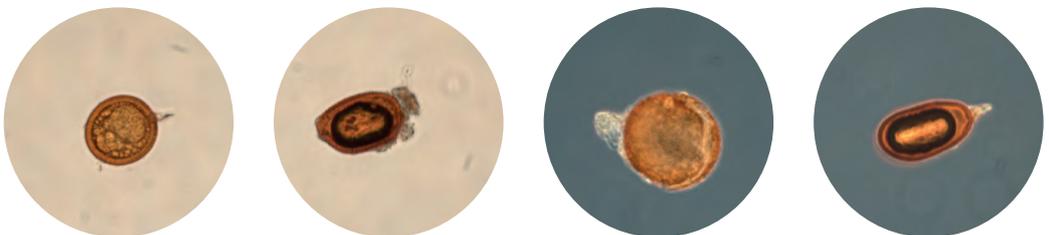
Las prácticas agronómicas en cuanto a la frecuencia de riegos, cantidad de agua aplicada por planta, fertilización, manejo de luminosidad y control de plagas y enfermedades fue igual entre plantas inoculadas con MA, y aquellas sin inocular con estos hongos. De esta manera, los efectos se centraron en las respuestas de las plantas a los inóculos de MA evaluados, teniendo como punto de referencia aquellas plantas que no recibieron el inóculo. Las plantas con y sin MA se evaluaron en su parte aérea y en raíces cuando completaron los 5,5 meses después de la siembra de la chapola en la bolsa, edad cercana para su trasplante al sitio definitivo en el campo.

En las Figuras 13 y 14 (a y b) se presentan los resultados parciales para la altura de la planta, área foliar por planta, peso seco de la parte aérea, y peso seco de la raíz.

Al analizar el crecimiento de la planta se observó un efecto positivo de varios de los 13 inóculos nativos sobre las plantas de café. Se observa que plantas con MA tienen altura y área foliar significativamente mayor para los inóculos números 26, 32, 37, 28, 4 y 54 con respecto a las plantas sin MA; mientras que para los inóculos 18, 16, 36, 85, 59 y 59,1 la diferencia en altura entre plantas con MA con respecto a las sin MA es muy poca o nula (Figuras 13 a y b).

Para variables de biomasa y su conversión en materia seca medida como peso seco de la parte aérea y de las raíces, se observaron diferencias significativas en plantas con MA para los inóculos 26, 32, 37, 28, 4 y 54, mientras que para el resto de inóculos la diferencia entre plantas con MA y sin MA fue menor o nula (Figuras 14 a y b).

En general, los inóculos que marcan la diferencia para estas cuatro variables de crecimiento, desarrollo y producción de biomasa entre plantas de café en almacigo con MA respecto a plantas sin MA son los números 32 (Isnos, ZAE 5), 37 (San Agustín, ZAE 6), 28 (Timaná, ZAE 5), 4 (Tarqui, Tratamiento al 75%; ZAE 4) y 54 (La Plata, ZAE 3).



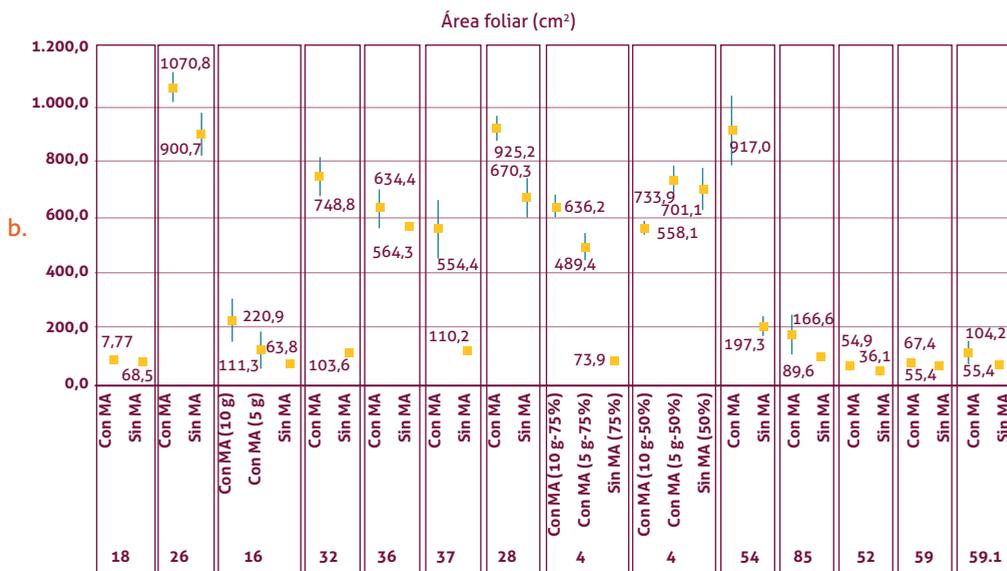
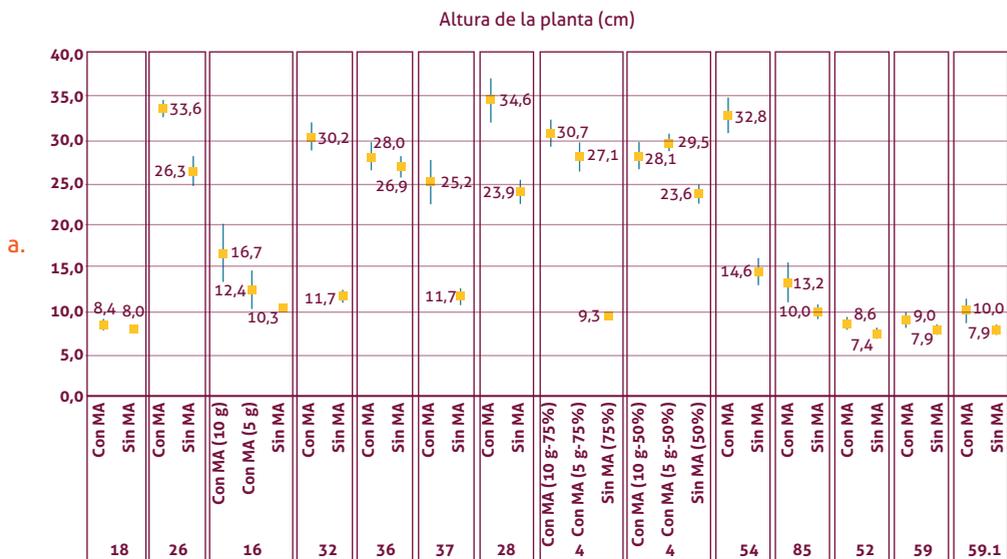


Figura 13. a) Altura de la planta (cm) y b) Área foliar por planta (cm²) de plantas de café var. Cenicafé 1 con y sin MA, de los 13 inóculos seleccionados en el departamento del Huila. Intervalos de confianza al 95%.

Nota: El número en la base de la figura corresponde a la identificación del inóculo puro de MA. Para el inóculo 4 se realizaron dos ensayos, uno con sustrato de suelo + turba a 75%, con 5 y 10 gramos de inóculo/bolsa, y otro con sustrato de suelo + turba a 50%.

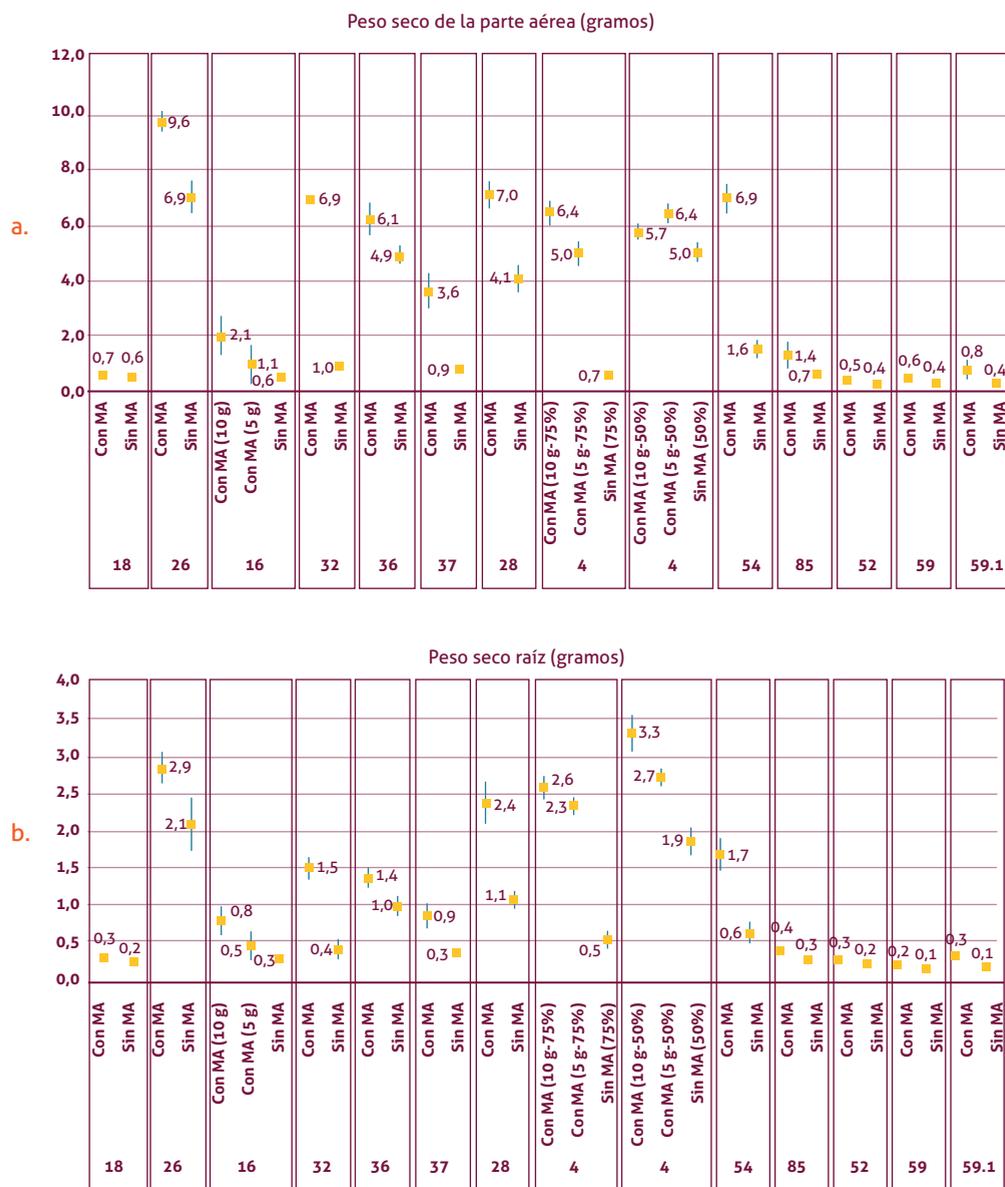


Figura 14. a) Peso seco (g) de la parte aérea de la planta (tallos y hojas); b) Peso seco de las raíces de plantas de café var. Cenicafé 1 con y sin MA de los 13 inóculos seleccionados en el departamento del Huila. Intervalos de Confianza al 95%.

Nota: El número en la base de la figura corresponde a la identificación del inóculo puro de MA. Para el inóculo 4 se realizaron dos ensayos, uno con sustrato de suelo + turba al 75%, con 5 y 10 gramos de inóculo/bolsa, y otro con sustrato de suelo + turba al 50%.

La mayor producción de biomasa medida como peso fresco y seco, tanto de la parte aérea como de las raíces de la planta, refleja la acción positiva de las MA; es decir, las plantas expresan una mayor capacidad para desarrollarse y acumular materia seca dependiendo de la capacidad de las MA para movilizar mayor cantidad de nutrientes y agua hacia la planta, que eventualmente la planta aprovecha.

De igual forma, las Figuras 13 y 14 (A y B) ilustran la variabilidad entre los tratamientos con MA y sin MA para un mismo suelo y entre suelos diferentes, para las variables altura, área foliar y peso seco de la parte aérea y de las raíces. Se notan los contrastes en valores que pueden indicar diferentes efectos de las MA sobre las plantas y de los tipos de suelos utilizados de donde se aislaron, en cada municipio y de las diferentes zonas agroecológicas. Es evidente el efecto positivo de las MA en las plantas en algunos de estos inóculos en sus suelos respectivos, cuando las condiciones de cultivo y manejo fueron siempre iguales entre los tratamientos con y sin MA.

La diversidad de las micorrizas arbusculares contribuye significativamente a la búsqueda, identificación y selección de inóculos, que por sus características y capacidad de adaptación a las condiciones específicas de los suelos de donde provienen, podrían emplearse en sistemas de producción de café. Sin embargo, solo las pruebas de efectividad en almácigos y luego en las etapas de levante y productiva en el campo determinarán el verdadero potencial y valor agregado que las MA le confieren a los sistemas de producción de café de un lote, finca o región. De esta forma, las MA podrán convertirse en un insumo biológico de importancia para ser incorporado dentro del manejo agronómico de la caficultura en el Departamento del Huila.

Consideraciones

- En los suelos de la zona cafetera del departamento del Huila existe un importante reservorio de microorganismos benéficos, entre los que figuran las micorrizas arbusculares, organismos perfectamente adaptados a las condiciones agroclimáticas de las seis Zonas Agroecológicas definidas para el departamento. Los 105 lotes muestreados en los 35 municipios cafeteros presentaron contenidos y colonización de raíces de café por las MA.
- Producto de un proceso de análisis de suelos, extracción, selección y multiplicación de esporas de MA se obtuvieron 13 inóculos nativos promisorios y con un alto potencial para seguir investigando sobre plantas de café. Estos 13 inóculos proceden de muestras de los municipios de La Argentina, La Plata, Garzón, Colombia, Tarqui, Elías, Timaná, Isnos, Palestina y San Agustín, de los cuales cinco de ellos generaron los mayores efectos positivos en altura de la planta, área foliar, peso seco de la parte aérea y de las raíces de plantas en almácigo de café var. Cenicafé 1.
- Las pruebas de efectividad biológica permiten evaluar variables de crecimiento, desarrollo y nutrición, para entender el efecto positivo que las micorrizas arbusculares pueden ejercer sobre las plantas de café, al compararlas con plantas sin la asociación con estos hongos. El caficultor con el acompañamiento del Servicio de Extensión puede realizar esta comparación para su respectivo suelo en la zona donde esté ubicado. No todos los inóculos de MA, sean nativos o comerciales, se comportan de la misma manera en todos los suelos.

- Los microorganismos del suelo como las micorrizas arbusculares son un componente fundamental de la diversidad, estabilidad, productividad y sostenibilidad de los sistemas de producción de café en el Huila. Su conservación, incremento y aprovechamiento dependen de que se realicen buenas prácticas agrícolas, donde se haga un manejo integral del cultivo acorde a la zona y sistema de producción. La fertilización debe realizarse con base en los análisis de suelos para cada lote; el manejo de arvenses debe ser integral y racional, evitando el abuso de los herbicidas y manteniendo coberturas nobles. El manejo de plagas y enfermedades debe hacerse de forma oportuna, adecuada e integrada, para evitar excesos en fungicidas e insecticidas que pueden afectar al ambiente y la salud. La estrategia a seguir es “Más Agronomía, Más productividad”.
- La información contenida en este capítulo le permite tanto a los caficultores como al Servicio de Extensión de la FNC y al público en general conocer qué son, por qué son importantes y para qué sirven las micorrizas arbusculares, y les brinda herramientas educativas y metodológicas para su obtención, conservación y aprovechamiento.
- Finalmente, se muestra el alto potencial de uso de las MA en almácigos de café para el departamento del Huila, para que estos inóculos sean un insumo de nuevas investigaciones, validaciones y trabajos de campo en las diferentes zonas y ambientes cafeteros del departamento, en la búsqueda de la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la caficultura del Huila por el bienestar de las familias cafeteras.





Literatura citada

Alarcón, A., y Ferrera Cerrato, R. (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, 17(3):1-13.

Cano, M. A. (2011). Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Revista UDCA. Actualidad & divulgación científica*, 14(2):15-31.

Castro, T, A. M; Rivillas O, C.A. (2002). *Entrophospora colombiana*, *Glomus manihotis* y *Burkholderia cepacia* en el control de *Rosellinia bunodes*, agente causante de la llega negra del cafeto. *Cenicafé*, 53(3): 193-218.

FAO. (2017). Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma, Italia: 1-26.

Flórez, C. P., Ibarra, L.N., Gómez, L.F., Carmona, C.J., Castaño, A., Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. 2013. *En Manual del Cafetero Colombiano*. Tomo I. Investigación y Tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (pp. 124-169). Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de investigaciones de Café – Cenicafé.

França, A. C., Freitas, A. F. D., Santos, E. A. D., Graziotti, P. H., y Andrade Júnior, V. C. D. (2016). Mycorrhizal fungi increase coffee plants competitiveness against *Bidens pilosa* interference. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 46(2): 132-139.

Gaitán B, A.L., Rivillas O, C.A. (2013). *Germinadores de Café*. *En Manual del Cafetero Colombiano*. Tomo II. Investigación y Tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (pp. 9-14). Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de investigaciones de Café – Cenicafé.

Gaitán B, A.L., Rivillas O, C.A., Salazar G, L.F. (2013). *Manejo Integrado de Almácigos*. *En Manual del Cafetero Colombiano*. Tomo II. Investigación y Tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (pp. 15 - 22). Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de investigaciones de Café – Cenicafé.

García, M. H. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. In: *Anales del jardín botánico de Madrid* 66 (1): 133-144. Real Jardín Botánico.

García R., S. (2006). Efecto de las micorrizas arbusculares sobre la regulación de genes implicados en el metabolismo carbonado en plantas de tomate (*Solanum esculentum*). Universidad de Granada. Tesis doctoral, 246 p.

Garzón, L. P. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la Amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*, (42): 1-19.

Gómez, M. R., y Villate, A. R. (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11(1): 53-60.

Guerra S, B.E. (2008). Micorriza Arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 21(1): 191-201.

Guzmán, O. A., y Rivillas, C. A. (2008). Relación de *Glomus manihotis* y *Glomus fasciculatum* con el crecimiento de plantas de café y la severidad de la mancha de hierro. *Cenicafé*: 58(3):236-257.



- Ibarra - Puón, J. C., Aguirre - Medina, J. F., Coss, L. D., Cadena - Iñiguez, J., y Zavala - Mata, G. A. (2014). *Coffea canephora* (Pierre) ex Froehner inoculado con micorriza y bacteria fijadora de nitrógeno en vivero. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 20(2): 201-213.
- Jaramillo, A. (2016). Épocas recomendadas para la siembra del café en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café Cenicafé. *Avance Técnico* 465:1-12.
- Jaramillo, R. I. (2011). La micorriza arbuscular (MA) centro de la rizosfera: comunidad microbiológica dinámica del suelo. *Revista Contactos*, 81: 17-23.
- Jobim K., Goto B.T. (2016). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in maritime sand dunes of Brazilian northeast. *Studies in Fungi* 1(1): 43-55.
- López Gómez, B. F., Alarcón, A., Quintero-Lizaola, R., y Lara-Herrera, A. (2015). Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares en dos sistemas de producción de Chile. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(6): 1203-1214.
- Neri-Luna, C., y Villarreal-Ruiz, L. (2012). Simbiosis micorrícica: un análisis de su relevante función ecosistémica y en la provisión de servicios ambientales: 37-62.
- Pérez, L., H., D., Ortiz, Z., y M., N. (2015). Evaluación del uso de micorrizas en el cultivo de café (*Coffea arabica*) en etapa de producción en la finca El Petén comunidad Los Robles-Jinotega, Nicaragua, (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua). 93 p.
- Peterson, R.L., Massicotte, H.B., Melville, L.H. (2004). *Mycorrhizas: Anatomy and cell biology*. Ottawa, Ontario: NRC Research press. CABI Publishing (pp. 1-173).
- Peterson, R.L. 2010. Formulación del Proyecto: "Biofertilizantes, bioprotectores y biorestauradores Micorrícicos para la producción agroecológica en las fincas de los Productores de café" (Federación., p. 87):1-87.
- Rivillas O, C.A. (2003). *Las Micorrizas Arbusculares en el cultivo del café*. In: Enfermedades del cafeto en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Editores: Luis Fernando Gil Vallejo; Bertha Lucía Castro Caicedo; Gabriel Cadena Gómez. Colombia. Agosto de 2003. P 64-74.
- Rojas, Y. D. C. P., Arias, R. M., Ortiz, R. M., Aguilar, D. T., Heredia, G., y Yon, Y. R. (2018). Effects of native arbuscular mycorrhizal and phosphate-solubilizing fungi on coffee plants. *Agroforestry Systems*: 1-12.
- Suárez Q, D.F. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de inoculantes de micorriza vesículo-arbuscular (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 52p.
- Trejo Aguilar, D., Ferrera Cerrato, R., Sangabriel Conde, W., Baeza, Y. (2018). Efecto de la micorriza arbuscular en plantas de café (*Coffea arabica* L.) infectadas por el nematodo de la corchosis de la raíz. *Agro Productividad*, 11(4): 1- 7.
- Viasus Triana, C. (2015). Evaluación de la especificidad entre plantas e inóculos comerciales de micorrizas para el desarrollo y producción de (*Pisum sativum* L) (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios). 46p.



Siavosh Sadeghian Khalajabadi

*Investigador Científico III
Disciplina de Suelos*

Vanessa Catalina Díaz Poveda

*Asistente de Investigación
Disciplina de Suelos*

Víctor Félix Alarcón Trujillo

*Asistente de Investigación
Disciplina de Suelos*

Luz Adriana Lince Salazar

*Investigador Científico I
Disciplina de Suelos*

Juan Camilo Rey Sandoval

*Asistente de Investigación
Disciplina de Suelos
Cenicafé*





Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición

“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”





Introducción

Durante los últimos años el área dedicada al cultivo de café en el departamento de Huila se ha incrementado, hasta ocupar el primer lugar a nivel nacional. Un aspecto importante para sostener y mejorar la productividad de los sistemas de producción de esta región tiene que ver con la adecuada nutrición de las plantaciones, la cual depende de las propiedades del suelo, que en últimas afectan su fertilidad y las prácticas de manejo.

Cuando las raíces del café encuentran un medio apto para su crecimiento, se extienden y toman desde la solución del suelo los elementos requeridos, produciendo cosechas abundantes y de buena calidad. Ejemplo de ello son los suelos profundos, con texturas francas y altos contenidos de materia orgánica, los cuales pueden almacenar y poner a la disposición de las plantas grandes cantidades de agua. En contraste, ante condiciones limitativas de orden físico, químico y biológico, se ve afectado el desarrollo de las plantas y su productividad.

Por lo anterior, un plan acertado de nutrición debe iniciar con la identificación de las propiedades del suelo que afectan el crecimiento de las raíces y la disponibilidad de los nutrientes para la planta, por ejemplo, encharcamiento, compactación y acidez. Parte de este ejercicio se logra mediante el análisis del suelo, sin embargo, esta herramienta por sí sola no es suficiente y debe complementarse con la revisión de las condiciones predominantes en el lote. Paralelo al manejo de los limitantes es necesario proporcionar los nutrientes que demanda el cultivo, mediante la aplicación de fertilizantes.

Mediante el desarrollo del siguiente trabajo de investigación, enmarcado en el Proyecto del Sistema General de Regalías, se buscó conocer en mayor detalle las propiedades de los suelos dedicados al cultivo de café en el departamento de Huila, con el fin de proponer estrategias de manejo que contribuyan al incremento de la productividad y la rentabilidad del negocio.

Se definieron los siguientes objetivos:

- Caracterizar la fertilidad de los suelos de la región cafetera del departamento de Huila.
- Evaluar la dinámica de las propiedades químicas del suelo.
- Definir recomendaciones para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de cafetales en las diferentes etapas del cultivo.

¿Cómo se desarrolló el estudio?

Caracterización de la fertilidad del suelo

Para la caracterización química del suelo se seleccionaron aleatoriamente 6.000 lotes cultivados en café, basándose en la información del Sistema de Información Cafetera-SICA, y con asignación proporcional al área de café en etapa productiva de cada municipio. Las plantaciones correspondían a las variedades Colombia, Castillo® o Caturra, con densidades superiores a 4.000 plantas/hectárea y edad mayor a 1,5 años.

En cada lote se delimitó un área de aproximadamente media hectárea, en donde se tomaron diez sub-muestras, a 20 cm de profundidad, mediante el uso de barreno. Estas se mezclaron con el fin de conformar una muestra compuesta, a la cual se determinaron las siguientes propiedades: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, aluminio, sodio, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica. Para el análisis físico, en 1.000 de los lotes seleccionados se analizaron: densidad aparente, textura y capacidad de almacenamiento de agua aprovechable por las plantas.

Se construyó una base de datos con la información correspondiente a la ubicación y las propiedades del suelo analizadas, se realizó un análisis estadístico descriptivo (promedio, mediana, mínimo, máximo y coeficiente de variación) y se calculó la frecuencia de las muestras en cada uno de los rangos de fertilidad, establecidas para el cultivo de café en Colombia; por último, se hizo una agrupación de los municipios en los rangos críticos o limitativos para el crecimiento de café.

Propiedades del suelo que determinan su fertilidad

pH. Potencial de hidrogeniones. Mide la concentración de los iones de hidrógeno libres (H^+) en una solución del suelo. Entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el valor del pH y mayor la acidez. Para café el rango adecuado de pH se encuentra entre 5,0 y 5,5. La disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, se reduce conforme disminuye el pH, mientras que se incrementa el aluminio.

Materia orgánica (MO). Representa el contenido del humus del suelo. Este componente se emplea como indicador de la disponibilidad de nitrógeno. Para el cultivo de café en Colombia, contenidos menores de 8% se consideran bajos, y niveles inferiores al 6% son muy bajos.

Fósforo (P). Corresponde a la fracción que se considera disponible para las plantas. Niveles menores de 10 mg/kg se clasifican como bajos y mayores de 30 mg/kg altos.

Calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+) intercambiables. Estos macronutrientes son llamados bases intercambiables. Los niveles adecuados para café son: Ca mayor de 3,0 cmol_c/kg, Mg mayor de 0,9 cmol_c/kg y K mayor de 0,4 cmol_c/kg.

Micronutrientes. Están principalmente representados por hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B). Otros como cloro (Cl), níquel (Ni) y molibdeno (Mo) no se determinan en el análisis rutinario de suelo. La disponibilidad de Fe y Mn es relativamente alta cuando el pH es menor de 5,5. Caso contrario ocurre para Zn, Cu y B; además, en suelos con baja MO es más frecuente la falta de boro.



Aluminio intercambiable (Al^{3+}). Cuando el pH es menor de 5,0, las concentraciones de Al^{3+} generalmente son mayores de 1,0 cmol_c/kg, nivel que puede causar toxicidad a las plantas.

Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE). Estima la capacidad del suelo para adsorber o almacenar de manera temporal elementos con carga positiva (cationes) al momento de realizar el análisis. Se calcula mediante la suma de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Al^{3+} . Valores de CICE menores de 3,0 cmol_c/kg se consideran bajos y mayores de 6,0 cmol_c/kg altos.

Conductividad eléctrica (CE). Esta propiedad se emplea para medir la salinidad del suelo. Valores mayores de 1,1 dS/m pueden afectar negativamente el crecimiento de café.

Textura. Es la propiedad relacionada con el contenido y la proporción de arena, limo y arcilla. Los suelos clasificados como francos presentan un mejor equilibrio entre estas partículas y favorecen el desarrollo de las raíces, mientras que en los suelos arenosos y arcillosos ocurre lo contrario.

Densidad aparente (DA). Se emplea generalmente como indicador de la compactación del suelo. Un rango adecuado para el crecimiento radical está entre 0,8 y 1,0 g/cm³.

Capacidad de almacenamiento de agua aprovechable (CAAA). Corresponde a la fracción del agua en el suelo que puede ser aprovechable por las plantas, retenida por el suelo a presiones entre 0,033 y 1,5 mega Pascales (MPa). Cuando esta capacidad es menor del 20% del volumen del suelo se considera limitante para el crecimiento de las plantas.



Dinámica de las propiedades químicas del suelo

Para las seis unidades cartográficas de suelo más comunes de la zona cafetera del Huila se evaluaron los requerimientos de cal, mediante pruebas de incubación durante dos meses, y la capacidad de retención de fósforo, calcio, magnesio y potasio, a través de la técnica de isotermas de adsorción. Estas valoraciones se llevaron a cabo para 60 muestras, tomadas a 20 cm de profundidad, de todo el departamento.



Isotermas de adsorción. Es una técnica que mide, a nivel de laboratorio, la capacidad que tienen los suelos para retener elementos con cargas positivas (cationes) y negativas (aniones). Para ello, a una misma temperatura, se someten muestras de suelos a diferentes concentraciones del elemento objeto de estudio y se cuantifica su retención por los coloides del suelo (materia orgánica y arcillas).

Información de lluvia

Con base en los registros históricos de lluvia se calculó la cantidad total anual y distribución de la precipitación para los 35 municipios del departamento.



La decisión de aplicar el fertilizante debe basarse en la disponibilidad de agua en el suelo, la cual está gobernada principalmente por la cantidad y la distribución de las lluvias.

Cantidades de lluvia cercanas a 2.500 mm/año se consideran adecuadas para el crecimiento de café, más de 3.500 mm/año pueden ser excesivas y menor de 1.500 mm limitantes.

Para que la fertilización sea efectiva se necesitan dos condiciones:

- Que el suelo esté húmedo al momento de la labor, es decir, que haya llovido en los días previos a la fertilización, y**
- Que exista una alta probabilidad de que el suelo permanezca húmedo, al menos durante los próximos 2 meses a partir de la fertilización.**

Recomendaciones para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de cafetales

A partir de los resultados de la caracterización de la fertilidad, la dinámica de las propiedades del suelo y la información de lluvias, se generaron recomendaciones de nutrición para cada etapa del cultivo de café por municipio.

¿Qué se encontró?

A. Propiedades químicas del suelo

En la Tabla 1 se presenta la información de la estadística descriptiva de las propiedades químicas analizadas a nivel departamental y en la Tabla 2 las frecuencias de los rangos establecidos para café de: pH, aluminio intercambiable, porcentaje de saturación de

aluminio (SAL), materia orgánica, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE).

Tabla 1. Estadística descriptiva de las propiedades químicas del suelo, correspondiente a 35 municipios del Huila.

| Propiedad | Unidad | Promedio | Mediana | Mínimo | Máximo | CV (%) |
|---------------|-----------------------|----------|---------|--------|----------|--------|
| pH | | 5,02 | 4,95 | 2,90 | 7,77 | 12,07 |
| Mat. Orgánica | % | 4,51 | 3,71 | 0,54 | 32,44 | 64,97 |
| Fósforo-P | mg/kg | 29,52 | 12,83 | 2,87 | 1.521,60 | 180,30 |
| Potasio-K | cmol _c /kg | 0,45 | 0,35 | 0,01 | 5,00 | 78,74 |
| Calcio-Ca | cmol _c /kg | 4,90 | 3,58 | 0,22 | 62,73 | 92,38 |
| Magnesio-Mg | cmol _c /kg | 1,50 | 1,18 | 0,15 | 11,22 | 82,36 |
| Aluminio-Al | cmol _c /kg | 1,29 | 0,65 | 0,00 | 12,82 | 125,99 |
| Sodio-Na | cmol _c /kg | 0,16 | 0,14 | 0,01 | 2,55 | 67,97 |
| Azufre-S | mg/kg | 8,28 | 6,28 | 0,13 | 324,11 | 110,58 |
| CICE | cmol _c /kg | 8,31 | 6,93 | 1,80 | 64,63 | 59,07 |
| Suma bases | cmol _c /kg | 7,01 | 5,49 | 0,59 | 64,63 | 78,36 |
| Sat. Aluminio | % | 21,08 | 10,75 | 0,00 | 89,25 | 113,6 |
| Al+H | cmol _c /kg | 1,64 | 0,95 | 0,00 | 16,03 | 118,3 |
| CIC | cmol _c /kg | 18,85 | 16,73 | 3,17 | 77,62 | 46,64 |
| CE | dS/m | 0,37 | 0,30 | 0,01 | 5,84 | 77,81 |
| Hierro-Fe | mg/kg | 360,22 | 290,54 | 5,00 | 3.326,76 | 80,12 |
| Cobre-Cu | mg/kg | 1,92 | 1,30 | 1,00 | 57,50 | 95,15 |
| Manganeso-Mn | mg/kg | 16,30 | 10,76 | 1,00 | 237,70 | 119,17 |
| Zinc-Zn | mg/kg | 3,82 | 2,68 | 1,00 | 81,37 | 104,4 |
| Boro-B | mg/kg | 0,31 | 0,28 | 0,02 | 1,74 | 54,24 |

Tabla 2. Frecuencia de rangos de pH, aluminio intercambiable, saturación de aluminio, materia orgánica, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio y CICE a nivel departamental.

| pH | | Aluminio-Al | | Saturación de Al-SAL | |
|------------|----------------|-------------------------------|----------------|----------------------|----------------|
| Rango | Frecuencia (%) | Rango (cmol _c /kg) | Frecuencia (%) | Rango (%) | Frecuencia (%) |
| pH≤4,5 | 20,63 | Al≤0,5 | 45,70 | SAL≤20 | 60,39 |
| 4,5<pH≤5,0 | 32,51 | 0,5<Al≤1,0 | 12,71 | 20<SAL≤40 | 16,42 |
| 5,0<pH≤5,5 | 26,38 | 1,0<Al≤2,0 | 15,58 | 40<SAL≤60 | 12,72 |
| 5,5<pH≤6,0 | 14,27 | 2,0<Al≤3,0 | 11,88 | 60<SAL≤80 | 9,42 |
| pH>6 | 6,21 | Al>3,0 | 14,13 | SAL>80 | 1,05 |

| Materia orgánica-MO | | Fósforo-P | | Azufre-S | |
|---------------------|----------------|---------------|----------------|-------------|----------------|
| Rango (%) | Frecuencia (%) | Rango (mg/kg) | Frecuencia (%) | Rango mg/kg | Frecuencia (%) |
| MO≤6,0 | 84,15 | P≤5 | 15,47 | S≤5 | 34,83 |
| 6<MO≤8 | 7,86 | 5<P≤10 | 25,93 | 5<S≤10 | 43,54 |
| 8<MO≤12 | 4,80 | 10<P≤20 | 22,15 | 10<S≤15 | 11,88 |
| 12<MO≤16 | 1,67 | 20<P≤30 | 9,75 | 15<S≤20 | 4,68 |
| MO>16 | 1,53 | P>30 | 26,70 | S>20 | 5,07 |

| Calcio-Ca | | Magnesio-Mg | | Potasio-K | |
|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
| Rango (cmol _c /kg) | Frecuencia (%) | Rango (cmol _c /kg) | Frecuencia (%) | Rango (cmol _c /kg) | Frecuencia (%) |
| Ca≤0,75 | 4,14 | Mg≤0,3 | 4,26 | K≤0,2 | 18,95 |
| 0,75<Ca≤1,5 | 13,91 | 0,3<Mg≤0,6 | 16,68 | 0,2<K≤0,4 | 38,72 |
| 1,5<Ca≤3,0 | 24,45 | 0,6<Mg≤0,9 | 16,56 | 0,4<K≤0,6 | 20,74 |
| 3,0<Ca≤4,5 | 17,43 | 0,9<Mg≤1,2 | 13,60 | 0,6<K≤0,8 | 10,59 |
| Ca>4,5 | 40,06 | Mg>1,2 | 48,90 | K>0,8 | 11,00 |

| CICE | |
|-------------------------------|----------------|
| Rango (cmol _c /kg) | Frecuencia (%) |
| CICE≤3,0 | 1,65 |
| 3<CICE≤4,5 | 12,64 |
| 4,5<CICE≤6,0 | 22,80 |
| 6,0<CICE≤7,5 | 19,62 |
| CICE>7,5 | 43,29 |

Acidez (pH y aluminio intercambiable-Al³⁺)

El 20% de las muestras de suelo analizadas presentaron una fuerte acidez para el cultivo de café (valores de pH menores de 4,5). A lo anterior se suman otros 33% con acidez moderada (pH entre 4,5 y 5,0), indicando que el 53% del área del departamento presenta acidez en los suelos destinados al cultivo de café (pH menor de 5,0). El panorama descrito fue más crítico en los municipios de Acevedo, Paicol y Palestina, con valores de pH por debajo de 5,0 en más del 80% de las muestras de suelo; seguidos por Agrado, Aipe, Colombia, Garzón, Nátaga, Oporapa, Pital, Pitalito, Suaza y Timaná, con los mismos valores de pH en un 60% a 80% de las muestras de suelo (Tabla 3). Una situación diferente se observó para Algeciras, Altamira, Campoalegre, Elías, Hobo, Íquira, Isnos, La Plata, Saladoblanco, San Agustín, Santa María, Tarqui, Tello y Teruel, donde el porcentaje de las muestras con valores de pH inferiores a 5,0 fue menor del 40%. Los demás municipios fueron categorizados como de frecuencia media, pues el porcentaje de muestras con pH crítico estuvo entre el 40% y 60%.

En contraste, el 14% de los lotes muestreados exhibieron valores de pH entre 5,5 y 6,0; resultado que indica una condición de ligera basicidad para café. El 6% de los lotes presentaron valores de pH mayores de 6,0, debido probablemente a la aplicación indiscriminada de materiales encalantes, con el agravante de que la solución no se logra a corto plazo.

Tabla 3. Frecuencia de muestras de suelo con valores de pH menores de 5,0.

| | |
|----------------------------|--|
| Muy alta (80%-100%) | Acevedo, Paicol y Palestina |
| Alta (60%-80%) | Agrado, Aipe, Colombia, Garzón, Nátaga, Oporapa, Pital, Pitalito, Suaza y Timaná |
| Media (40%-60%) | Baraya, Gigante, Guadalupe, La Argentina, Neiva, Palermo, Rivera y Tesalia |
| Baja (20%-40%) | Algeciras, Altamira, Campoalegre, Elías, Hobo, Íquira, Isnos, La Plata, Saladoblanco, San Agustín, Santa María, Tarqui, Tello y Teruel |

Con la disminución de los valores de pH (aumento en la acidez) se incrementaron los contenidos del aluminio intercambiable- Al^{3+} y su representación en la CICE, es decir, en el porcentaje saturación de aluminio-SAL (Figura 1). En el 42% de los municipios los niveles de Al^{3+} estuvieron por encima del valor que se considera tóxico para café (1,0 $cmol_c/kg$) (Tabla 4). Al emplear el porcentaje de SAL como indicador, sólo el 24% de las muestras analizadas presentaron valores superiores al 40% (Tabla 5), resultado que se debe a los altos contenidos de calcio y magnesio. Entre los 13 municipios que presentaron las frecuencias más altas en los valores bajos de pH, cinco exhibieron los contenidos más altos de aluminio (Tabla 4).

Tabla 4. Frecuencia de muestras de suelo con valores de aluminio mayores de 1,0 $cmol_c/kg$.

| Frecuencia | Municipio |
|---------------------|--|
| Muy alta (80%-100%) | Acevedo y Paicol |
| Alta (60%-80%) | Aipe, Palestina y Pital |
| Media (40%-60%) | Agrado, Garzón, Nátaga, Neiva, Oporapa, Palermo, Pitalito, Suaza, Tesalia y Timaná |
| Baja (20%-40%) | Baraya, Colombia, Elías, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Rivera, San Agustín, Santa María, Tarquí, Tello y Teruel |
| Muy Baja (0%-20%) | Algeciras, Altamira, Campoalegre y Saladoblanco |

Tabla 5. Frecuencia de muestras de suelo con valores de saturación de aluminio mayores de 40%.

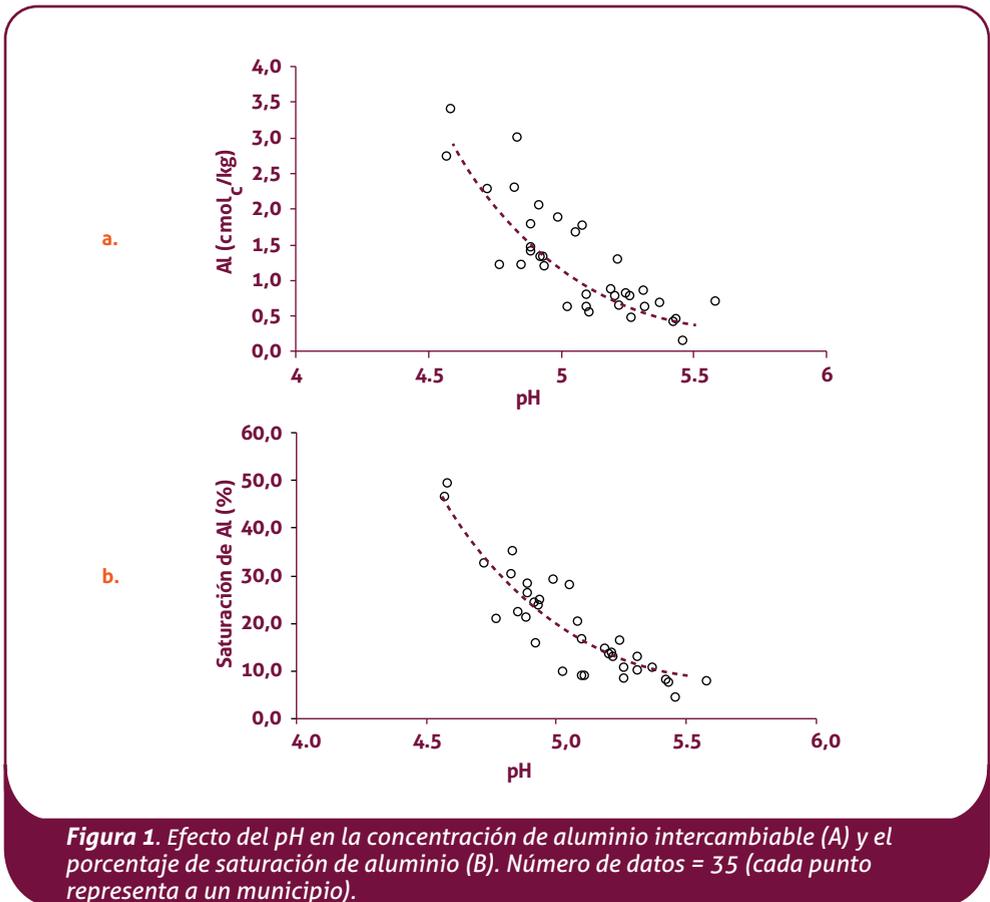
| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|--|
| Alta (60%-80%) | Acevedo y Paicol |
| Media (40%-60%) | Tesalia |
| Baja (20%-40%) | Agrado, Aipe, Baraya, Garzón, Nátaga, Neiva, Oporapa, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Suaza y Timaná |
| Muy Baja (0%-20%) | Algeciras, Altamira, Campoalegre, Colombia, Elías, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Rivera, Saladoblanco, San Agustín, Santa María, Tarquí, Tello y Teruel |

Materia orgánica-MO y nitrógeno-N

El 84% de las muestras analizadas exhibieron contenidos de materia orgánica muy bajos para el cultivo de café (menos de 6%), sumado a 8% de las muestras de suelo con niveles bajos (entre 6% y 8%). Aunque la situación de este componente es alarmante en casi todo el departamento del Huila, tiende a ser menos crítica en el municipio de San Agustín (Tabla 6). Es importante resaltar que la materia orgánica es la principal fuente de nitrógeno y de algunos micronutrientes para las plantas, además de afectar las propiedades físicas y biológicas del suelo, en particular, la porosidad, la aireación y la retención de humedad.

Tabla 6. Frecuencia de muestras de suelo con valores de materia orgánica menores de 6,0%.

| Frecuencia | Municipio |
|--------------------|---|
| Muy alta(80%-100%) | Altamira, Acevedo, Agrado, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Pitalito, Rivera, Saladoblanco, Santa María, Suaza, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia y Timaná |
| Alta (60%-80%) | Palestina y Pital |
| Media (40%-60%) | San Agustín |



Fósforo-P y azufre-S

En el 41% de los casos se presentaron valores muy bajos a bajos de fósforo (menor de 10 mg/kg), y en el 32% valores medios (entre 10 a 30 mg/kg), en tanto que el 27% de las muestras analizadas exhibieron niveles altos (mayores a 30 mg/kg), en cuyo caso no se requiere del suministro de este elemento. Con respecto a este último resultado, las causas pueden relacionarse con las dosis altas aplicadas a través de las fertilizaciones.

En cuanto a las diferencias entre los municipios, en el Agrado, Aipe, Íquira, Nátaga, Neiva y Paicol se encontraron bajos contenidos del elemento (Tabla 6). Una condición contraria ocurre en 17 municipios con frecuencias bajas y muy bajas de niveles de fósforo menores de 10 mg/kg (Tabla 7), lo cual puede ser resultado de las aplicaciones frecuentes de este elemento en dosis altas.

Las pruebas de fijación de fósforo indican que el 60% del área cafetera del departamento presenta un bajo a muy bajo poder de fijación de fósforo, lo cual sugiere que, al suministrar este nutriente vía fertilización, la mayor parte del elemento quedará disponible para las plantas. El 31% de las muestras exhibieron una fijación que se clasifica como media y solamente el 9% presentaron valores altos a muy altos de retención. Se identificaron a la materia orgánica y el porcentaje de saturación de aluminio como las propiedades que más contribuyeron a la fijación de fósforo, mientras que, con el aumento de las bases intercambiables, esta disminuyó (Figura 2). En suelos ácidos, donde hubo baja participación de calcio, magnesio y potasio en la fase intercambiable, y predominio de aluminio, se presentó una mayor fijación de fósforo.

Tabla 7. Frecuencia de muestras de suelo con valores de fósforo menores de 10 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Alta (60%-80%) | Agrado, Aipe, Íquira, Nátaga, Neiva y Paicol |
| Media (40%-60%) | Acevedo, Altamira, Baraya, Isnos, La Argentina, La Plata, San Agustín, Santa María, Suaza, Tello, Teruel y Tesalia |
| Baja (20%-40%) | Algeciras, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Guadalupe, Hobo, Oporapa, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Saladoblanco, Tarqui y Timaná |
| Muy Baja (0%-20%) | Gigante y Rivera |

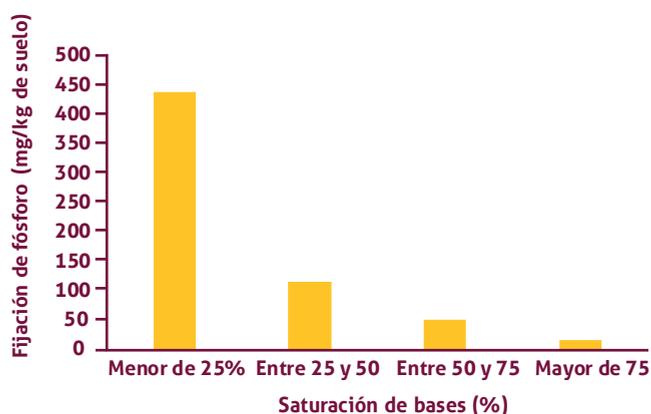


Figura 2. Fijación de fósforo en función del porcentaje de saturación de bases intercambiables.

Con respecto al azufre, el 36% de las muestras analizadas contenían bajos valores (menor de 5 mg/kg) y en el 44% de los casos se detectaron contenidos medios (entre 5 y 10 mg/kg). Este resultado fue común para todos los municipios, y estaría relacionado con los bajos niveles de materia orgánica y el material que da origen a los suelos (Tabla 8).

Tabla 8. Frecuencia de muestras de suelo con valores de azufre menores de 10 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|---------------------|--|
| Muy alta (80%-100%) | Agrado, Algeciras, Altamira, Baraya, Colombia, Elías, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, La Plata, Nátaga, Rivera, Santa María, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia y Timaná |
| Alta (60%-80%) | Acevedo, Aipe, Campoalegre, Isnos, La Argentina, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Salado blanco, San Agustín y Suaza |
| Media (40%-60%) | Garzón |

Potasio-K, calcio-Ca, magnesio-Mg

El 19% de los lotes evaluados presentaron bajos contenidos de K (menor de 0,20 cmol_c/kg) y 39% contenidos medios (entre 0,20 y 0,40 cmol_c/kg), indicando que para el 58% de los casos la condición de este elemento puede llegar a ser crítica si no se proporcionan las dosis requeridas.

En 29 municipios fueron más frecuentes los lotes con niveles bajos y medios de potasio (Tabla 9), mientras que en seis fueron menos los lotes diagnosticados con esta condición, debido posiblemente a las prácticas de abonamiento y no a la fertilidad natural.

Tabla 9. Frecuencia de muestras de suelo con valores de potasio menores de 0,4 cmol_c/kg.

| | |
|-----------------|---|
| Alta (60%-80%) | Acevedo, Altamira, Campoalegre, Garzón, Guadalupe, La Plata, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Rivera, Santa María, Suaza, Tarqui, Tello, Teruel y Tesalia |
| Media (40%-60%) | Agrado, Algeciras, Baraya, Colombia, Elías, Gigante, Hobo, Íquira, Isnos, Nátaga, Pitalito y Timaná |
| Baja (20%-40%) | Aipe, La Argentina, Palestina, Pital, Salado blanco y San Agustín |

En cerca del 60% de las muestras analizadas los contenidos de calcio-Ca y magnesio-Mg fueron altos a muy altos para el cultivo de café, comportamiento que se debe principalmente a la riqueza natural de los suelos y a una alta CICE, la que favorece la capacidad del suelo para retener cationes y reducir las pérdidas por lixiviación. Altamira presentó un porcentaje relativamente bajo de muestras con bajos valores de CICE, sin que la situación sea alarmante (Tabla 10).

Tabla 10. Frecuencia de muestras de suelo con valores de CICE menores de 4,5 cmol_c/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Media (40%-60%) | Altamira |
| Baja (20%-40%) | Guadalupe, Hobo, Pitalito y Suaza |
| Muy Baja (0%-20%) | Acevedo, Agrado, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Gigante, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Palestina, Pital, Rivera, Salado blanco, San Agustín, Santa María, Tarqui, Tello, Teruel, Tesalia y Timaná |

En cuanto a los contenidos de Ca y Mg, los municipios de Acevedo, Paicol y Tesalia presentaron una mayor frecuencia en las deficiencias de estos dos elementos (Tabla 11 y 12), y también se detectó más acidez del suelo (Tabla 3). El origen de estas deficiencias se debe por una parte a la fertilidad natural del suelo y, por otra, a las prácticas de fertilización.

Tabla 11. Frecuencia de muestras de suelo con valores de calcio menores de 1,5 cmol_c/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Media (40%-60%) | Acevedo, Tesalia y Paicol |
| Baja (20%-40%) | Aipe, Garzón, Nátaga, Neiva, Palermo, Pital, Pitalito y Suaza |
| Muy Baja (0%-20%) | Agrado, Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Oporapa, Palestina, Rivera, Salado blanco, San Agustín, Santa María, Tarqui, Tello, Teruel y Timaná |

Tabla 12. Frecuencia de muestras de suelo con valores de magnesio menores de 0,6 cmol_c/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Alta (60%-80%) | Paicol |
| Media (40%-60%) | Acevedo y Tesalia |
| Baja (20%-40%) | Garzón, Nátaga, Neiva, Oporapa, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Suaza y Timaná |
| Muy Baja (0%-20%) | Agrado, Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Rivera, Salado blanco, San Agustín, Santa María, Tarqui, Tello y Teruel |

Las pruebas de isotermas de adsorción realizadas en el laboratorio indicaron que, en la mayoría de los municipios los suelos son capaces de retener cantidades media a altas de Ca, Mg y K. Se encontró una relación directa entre los contenidos de estas tres bases intercambiables y el pH del suelo (Figura 3).

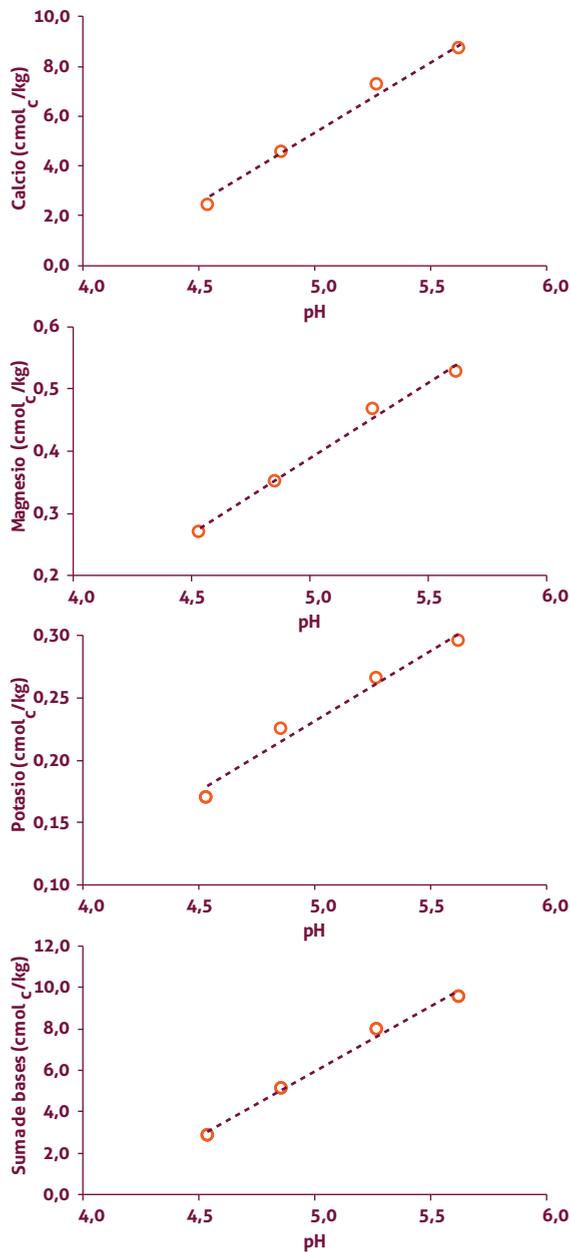


Figura 3. Variaciones de bases intercambiables (calcio, magnesio y potasio) en respuesta al pH del suelo.

Micronutrientes: hierro-Fe, manganeso-Mn, zinc-Zn, cobre-Cu y boro-B

Los niveles de hierro fueron altos en todas las localidades (Tabla 13), razón por la cual este micronutriente no debe suministrarse vía fertilización. Una tendencia similar se presentó para manganeso, siendo los municipios de Hobo y Paicol la excepción (Tabla 14). Con respecto a zinc, cobre y boro (Tabla 15, 16 y 17, respectivamente), en pocos municipios fueron altas las frecuencias de muestras con niveles bajos y, con base en los resultados de otras investigaciones desarrolladas en el departamento, el micronutriente de mayor atención sería el boro.

Tabla 13. Frecuencia de muestras de suelo con valores de hierro menores de 25 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Muy Baja (0%-20%) | Altamira, Acevedo, Agrado, Aipe, Algeciras, Baraya, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Nátaga, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Rivera, Salado blanco, San Agustín, Santa María, Suaza, Tarquí, Tello, Teruel, Tesalia y Timaná |

Tabla 14. Frecuencia de muestras de suelo con valores de manganeso menores de 5 cmol_c/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|---|
| Media (40%-60%) | Hobo y Paicol |
| Baja (20%-40%) | Acevedo, Agrado, Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Garzón, Guadalupe, Nátaga, Rivera, Salado blanco y Santa María |
| Muy Baja (0%-20%) | Aipe, Colombia, Elías, Gigante, Íquira, Isnos, La Argentina, La Plata, Neiva, Oporapa, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, San Agustín, Suaza, Tarquí, Tello, Teruel, Tesalia y Timaná |

Tabla 15. Frecuencia de muestras de suelo con valores de zinc menores de 1,5 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|--|
| Alta (60%-80%) | Tesalia |
| Media (40%-60%) | Agrado, Campoalegre, Hobo, Íquira, Nátaga, Neiva, Paicol, Rivera, Suaza y Teruel |
| Baja (20%-40%) | Acevedo, Aipe, Algeciras, Baraya, Garzón, Guadalupe, La Plata, Palermo, Pital, Pitalito, Santa María, Tarquí y Tello |
| Muy Baja (0%-20%) | Altamira, Colombia, Elías, Gigante, Isnos, La Argentina, Oporapa, Palestina, Salado blanco, San Agustín y Timaná |

Tabla 16. Frecuencia de muestras de suelo con valores valores de cobre menores de 1,0 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|---------------------|--|
| Muy alta (80%-100%) | Nátaga |
| Alta (60%-80%) | Íquira y Rivera |
| Media (40%-60%) | Agrado, Aipe, Altamira, Neiva, Palestina, Pital, Pitalito, San Agustín, Suaza y Teruel |
| Baja (20%-40%) | Acevedo, Baraya, Campoalegre, Colombia, Garzón, Gigante, Hobo, Isnos, La Plata, Oporapa, Paicol, Palermo, Salado blanco, Santa María, Tarqui, Tello y Timaná |
| Muy Baja (0%-20%) | Algeciras, Elías, Guadalupe, La Argentina y Tesalia |

Tabla 17. Frecuencia de muestras de suelo con valores de boro menores de 0,2 mg/kg.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|--|
| Alta (60%-80%) | Gigante |
| Media (40%-60%) | Guadalupe, Íquira, Isnos y San Agustín |
| Baja (20%-40%) | Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, La Plata, Neiva, Palestina, Pital, Pitalito, Rivera, Suaza, Tello, Teruel y Tesalia |
| Muy Baja (0%-20%) | Acevedo, Agrado, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Hobo, La Argentina, Nátaga, Oporapa, Paicol, Palermo, Salado blanco, Santa María, Tarqui y Timaná |

Sodio-Na y salinidad

Bajo condiciones particulares, el exceso de sodio-Na y la salinidad del suelo, medido indirectamente mediante la conductividad eléctrica-CE, pueden llegar a ser limitantes en la producción de los cultivos. Puede decirse que en muy escasas excepciones estas dos propiedades sobrepasaron los límites adecuados.

B. Propiedades físicas del suelo

En la Tabla 18 se incluyen las frecuencias de rangos de densidad aparente, agua aprovechable para las plantas y textura a nivel departamental.

Tabla 18. Frecuencia de rangos de densidad aparente, agua aprovechable para las plantas y textura a nivel departamental.

| Densidad aparente-DA | | Capacidad de almacenamiento de agua aprovechable (CAAA)* | | Textura | |
|----------------------------|----------------|--|----------------|-------------------------|----------------|
| Rango (g/cm ³) | Frecuencia (%) | Rango (%) | Frecuencia (%) | Rango (clase) | Frecuencia (%) |
| DA ≤ 0,8 | 8,58 | AP ≤ 10 | 15,02 | F | 6,55 |
| 0,8 < DA ≤ 1,0 | 18,13 | 10 < AP ≤ 20 | 45,60 | FAr, FA, FArA, FArL, FL | 64,06 |
| 1,0 < DA ≤ 1,2 | 37,66 | 20 < AP ≤ 30 | 38,30 | AF | 1,61 |
| 1,2 < DA ≤ 1,4 | 30,04 | 30 < AP ≤ 40 | 0,97 | ArA, ArL | 4,83 |
| DA > 1,4 | 5,58 | AP > 40 | 0,11 | A, Ar | 22,96 |

* Agua aprovechable: agua retenida entre 0,033 y 1,50 MPa, expresado en volumen (humedad volumétrica). F: franca, FAr: franco arcillosa, FA: franco arenosa, FArA: franco arcillo arenosa, FArL: franco arcillo limosa, FL: franco limosa, AF: arenoso franco, ArA: arcillo arenosa, ArL: arcillo limosa, A: arenosa, Ar: arcillosa.

Densidad aparente-DA

Para esta propiedad se consideran apropiados valores cercanos a 1,0 g/cm³ y no deseables aquellos superiores a 1,2 g/cm³. En el 36% de las muestras tomadas los valores de la DA fueron mayores de 1,2 g/cm³, principalmente en los municipios Agrado, Baraya, Campoalegre, Gigante, Suaza y Timaná (Tabla 19).

Tabla 19. Frecuencia de muestras de suelo con valores de densidad aparente menores de 1,2 g/cm³.

| Frecuencia | Municipio |
|---------------------|---|
| Muy alta (80%-100%) | Agrado |
| Alta (60%-80%) | Baraya, Campoalegre, Gigante, Suaza y Timaná |
| Media (40%-60%) | Algeciras, Elías, Guadalupe, Hobo, Pital, Rivera, Santa María y Tarqui |
| Baja (20%-40%) | Garzón, La Plata, Oporapa, Palestina, Pitalito, Saladoblanco y Tello |
| Muy Baja (0%-20%) | Acevedo, Agrado, Altamira, Colombia, Garzón, Íquira, Isnos, La Argentina, Nátaga, Neiva, Oporapa, Palermo, San Agustín y Teruel |

Capacidad de almacenamiento de agua aprovechable

En el 61% de los municipios la capacidad del suelo para retener agua aprovechable para las plantas fue relativamente baja (menor de 20%) (Tabla 20), condición que puede tornarse más crítica durante las temporadas más secas. En los demás municipios, especialmente en Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Colombia, Elías, Íquira, Oporapa, Palestina, Saladoblanco, San Agustín, Santa María y Timaná, la situación resultó favorable (Tabla 20).

Tabla 20. Frecuencia de muestras de suelo con valores de capacidad de retención de agua aprovechable para las plantas, menor de 20%.

| Frecuencia | Municipio |
|---------------------|---|
| Muy alta (80%-100%) | Agrado, Campoalegre, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, La Argentina, La Plata, Nátaga, Paicol, Palermo, Pital, Pitalito, Rivera, Tarqui y Tesalia |
| Alta (60%-80%) | Acevedo y Teruel |
| Baja (20%-40%) | Isnos, Neiva, Suaza y Tello |
| Muy Baja (0%-20%) | Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Colombia, Elías, Íquira, Oporapa, Palestina, Saladoblanco, San Agustín, Santa María y Timaná |

Textura

Solamente en Baraya y Tello se detectaron frecuencias altas de muestras con texturas que se consideran indeseables (entre 60% y 80%), principalmente arcillosas (Tabla 21). Aunque en Algeciras, Colombia, Íquira, Isnos, Palermo, Pitalito y San Agustín, también se presentaron muestras con texturas similares, su frecuencia fue menor.

Tabla 21. Frecuencia de muestras de suelo con texturas arenosas o arcillosas.

| Frecuencia | Municipio |
|-------------------|--|
| Alta (60%-80%) | Baraya y Tello |
| Media (40%-60%) | Algeciras, Colombia, Íquira, Isnos, Palermo, Pitalito y San Agustín |
| Baja (20%-40%) | Elías, Neiva, Oporapa, Palestina, Santa María, Teruel y Tesalia |
| Muy Baja (0%-20%) | Acevedo, Agrado, Aipe, Campoalegre, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, La Argentina, La Plata, Nátaga, Paicol, Pital, Rivera, Saladoblanco, Suaza, Tarqui, Tello y Timaná |

Lluvia

Para el departamento de Huila pueden diferenciarse tres rangos de precipitación, según los requerimientos hídricos del cultivo del café:

- Menor de 1.500 mm/año: Agrado, Altamira, Campoalegre, Elías, Garzón, Gigante, Hobo, Oporapa, Pital, Rivera, Saladoblanco, Tarqui y Tello
- Entre 1.500 y 1.800 mm/año: Algeciras, Baraya, Guadalupe, Isnos, La Argentina, La Plata, Neiva, Paicol, Palermo, Pitalito, San Agustín, Santa María, Teruel y Timaná
- Mayor de 1.800 mm/año: Acevedo, Aipe, Colombia, Íquira, Nátaga, Palestina, Suaza y Tesalia

En cuanto a la distribución de lluvia, los municipios de Acevedo, Agrado, Aipe, Colombia, Elías, Guadalupe, Íquira, Nátaga, Paicol, Palermo, Palestina, Pitalito, Santa María, Suaza, Teruel y Timaná presentan una tendencia unimodal y Algeciras, Altamira, Baraya, Campoalegre, Garzón, Gigante, Hobo, Isnos, La Argentina, La Plata, Neiva, Oporapa, Pital, Rivera, Saladoblanco, San Agustín, Tarqui, Tello y Tesalia una distribución bimodal.

Al relacionar la cantidad de lluvia con la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, se encontró que algunos municipios del departamento presentan precipitaciones mayores de 1.800 mm/año y suelos con capacidad de almacenamiento de agua mayor del 20%. En cambio, en otros municipios presentan lluvias menores de 1.500 mm/año y suelos con baja capacidad de almacenamiento de agua (Tabla 22).

Tabla 22. Agrupación de los municipios según la precipitación media anual y la capacidad de almacenamiento de agua aprovechable (CAAA) en el suelo.

| Precipitación anual | Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo | | |
|---|---|---|--|
| | Baja: Más del 60% de las muestras con CAAA menor de 20% | Media: Entre 20% y 40% de las muestras con CAAA menor de 20% | Alta: Menos del 20% de las muestras con CAAA menor de 20% |
| Baja: Menor de 1.500 mm | Agrado, Campoalegre, Garzón, Gigante, Hobo, Pital, Rivera y Tarqui | Tello | Altamira, Elías, Oporapa y Saladoblanco |
| Media: Entre 1.500 y 1.800 mm | Guadalupe, La Argentina, La Plata, Paicol, Palermo, Pitalito y Teruel | Isnos y Neiva | Algeciras, Baraya, San Agustín, Santa María y Timaná |
| Alta: Mayor de 1.800 mm | Acevedo, Nátaga y Tesalia | Suaza | Aipe, Colombia, Íquira y Palestina |

Recomendaciones

De acuerdo con los resultados obtenidos se presentan recomendaciones generales y específicas para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de cafetales en las etapas fenológicas de crecimiento vegetativo (levante) y producción.

Acidez (pH y aluminio intercambiable)

Se sabe que la acidez del suelo afecta el crecimiento de café y su producción; sin embargo, cualquier acción para corregirla debe basarse en el conocimiento del problema.

Por lo anterior, se recomienda:

- Basarse en los resultados de los análisis de suelo para definir la dosis de la cal requerida en cada etapa fenológica del cultivo.
- En todos los municipios, y con particular énfasis en Acevedo, Paicol, Palestina, Agrado, Aipe, Colombia, Garzón, Nátaga, Oporapa, Pital, Pitalito, Suaza y Timaná deben emprenderse campañas para el uso de los análisis del suelo y la corrección de la acidez. Al respecto, merece especial atención el papel del Servicio de Extensión del Comité Departamental de Cafeteros de Huila en la sensibilización y la capacitación a los caficultores.
- Con el fin de establecer relaciones que se consideran adecuadas entre calcio y magnesio, se recomienda el uso de la caliza dolomítica como la primera alternativa para la corrección de la acidez.
- Racionalizar el uso de los fertilizantes nitrogenados, en particular aquellos que contienen amonio o que forman este ion en su proceso de hidrólisis, como la urea o los fertilizantes simples que la contienen, es decir, nitrato de amonio, sulfato de amonio (SAM) y la gran mayoría de los fertilizantes complejos.
- El SAM puede emplearse en dosis relativamente altas cuando el pH del suelo tiende hacia la alcalinidad (mayor de 6,0).

En la Tabla 23 se presenta la recomendación para la dosis de caliza dolomítica al momento de la siembra, según el valor del pH del suelo y las dimensiones del hoyo. Cuando el pH sea mayor de 5,5 no es necesario aplicar esta enmienda.

Tabla 23. Dosis de caliza dolomítica al momento de la siembra, según el pH del suelo y las dimensiones del hoyo.

| pH | Dosis de caliza dolomítica según dimensiones del hoyo (g) | | |
|---------------------|---|-----------------|-----------------|
| | 30 x 30 x 30 cm | 25 x 25 x 30 cm | 20 x 20 x 30 cm |
| Menor o igual a 4,0 | 200 | 140 | 90 |
| 4,1 | 185 | 130 | 80 |
| 4,2 | 170 | 120 | 75 |
| 4,3 | 150 | 105 | 65 |
| 4,4 | 135 | 95 | 60 |
| 4,5 | 120 | 85 | 55 |
| 4,6 | 105 | 75 | 50 |
| 4,7 | 90 | 65 | 40 |
| 4,8 | 75 | 50 | 35 |
| 4,9 | 60 | 40 | 25 |
| Entre 5,0 y 5,5 | 50 | 35 | 20 |

Materia orgánica-MO y nitrógeno

En vista de los bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno del suelo en todo el departamento se recomienda:

- Desde el Servicio de Extensión del Comité Departamental de Cafeteros de Huila llevar a cabo actividades para la sensibilización y la capacitación de los caficultores con relación a las prácticas de conservación del suelo, en especial para el control de la erosión.
- Sembrar, preferiblemente, colinos que han sido desarrollados en bolsas grandes (17 cm x 23 cm) con un sustrato rico en abono orgánico como pulpa, gallinaza, pollinaza y lombrinaza bien descompuesta. Así se llevará más cantidad de suelo enriquecido con abono orgánico; práctica que se considera fundamental para un buen establecimiento en el campo. Aunque se prefieren relaciones de suelo y abono 3 a 1, también son aceptables rangos un poco más amplios, por ejemplo, 5 a 1.
- Es aconsejable incorporar abonos orgánicos al suelo en el momento de la siembra. Lo más indicado son hoyos grandes (30 cm x 30 cm x 30 cm), en cuyo caso se sugiere aplicar de 2,0 a 4,0 kg de abono, según su humedad. Para hoyos con dimensiones más pequeñas, por ejemplo 20 cm x 20 cm x 30 cm, la dosis debe ser la mitad, es decir, de 1,0 a 2,0 kg.
- Una vez trasplantado el colino aplicar abonos y residuos orgánicos en el plato del árbol. Esta práctica ayudará a incrementar la materia orgánica del suelo en la zona de raíces, aportará nutrientes y conservará la humedad en las épocas secas.
- En suelos muy pobres en materia orgánica, en especial aquellas localidades en las que se presenta déficit hídrico durante períodos prolongados (más de dos meses), plantar árboles de sombrío con el propósito de aportar residuos orgánicos y nutrientes al suelo (principalmente nitrógeno), además de conservar la humedad. Son de particular atención los cafetales establecidos en suelos con texturas más arenosas.

- La gran mayoría de las veces será necesario aplicar las dosis más altas de nitrógeno en las diferentes etapas fenológicas del cultivo. Se recomienda el uso de urea, por ser una fuente económica, con 46% de nitrógeno.
- Aunque se podrán realizar ajustes al plan de abonamiento con este elemento, las reducciones serán muy pocas. Por lo anterior, un plan generalizado durante la etapa de levante, es decir, desde la siembra hasta los 18 meses luego del trasplante, puede ser el siguiente:

| <i>Dosis de nitrógeno-N (gramos/planta) en la etapa de levante.</i> | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|-------------------------|--------|-------|
| ----- Primer año ----- | | | | ----- Segundo año ----- | | |
| Mes 1 | Mes 6 | Mes 10 | Total | Mes 14 | Mes 18 | Total |
| 7 | 9 | 12 | 28 | 14 | 16 | 30 |

Durante la etapa de producción, a partir de los dos años luego del trasplante, las dosis se dan en kilogramos por hectárea, y deben ajustarse de acuerdo con la densidad de siembra (número de plantas o ejes/hectárea) y el nivel de sombra, expresado en porcentaje, así:

| Densidad (plantas o ejes/ hectárea) | ----- Porcentaje de sombra ----- | | |
|---|----------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | Menor de 35% (Muy bajo) | Entre 35 y 45% (Bajo) | Entre 45 y 55% (Medio) |
| Mayor de 7.500 | 300 | 285 | 255 |
| Entre 5.000 y 7.500 | 285 | 255 | 225 |
| Menor de 5.000 | 255 | 225 | 150 |

Adaptado de Sadeghian (2008).

Fósforo-P

- En los municipios de Agrado, Aipe, Íquira, Nátaga, Neiva y Paicol, donde se presenta un mayor número de lotes con niveles bajos de fósforo, incentivar la aplicación de dosis adecuadas de este elemento en los planes de fertilización, en especial para la etapa de levante. En contraste, en Gigante y Rivera, parcialmente Algeciras, Campoalegre, Colombia, Elías, Garzón, Guadalupe, Hobo, Oporapa, Palermo, Palestina, Pital, Pitalito, Saladoblanco, Tarqui y Timaná, donde un gran porcentaje de las áreas contienen niveles altos de este elemento, se sugiere racionalizar el uso de los abonos fosfóricos, bien sea mediante el empleo de análisis de suelos o, en su defecto, empleando las dosis máximas recomendadas; en este sentido, tener en cuenta que la mayoría de los suelos del departamento no fijan el fósforo, lo que reduciría la disponibilidad del elemento.
- Para una mayor eficiencia en el uso del fósforo se recomienda corregir la acidez del suelo, siempre y cuando así lo señale el análisis del suelo.
- Como fuentes fertilizantes se podrán emplear principalmente fosfato diamónico-DAP (18% de nitrógeno y 46% de fósforo P_2O_5) y fosfato monoamónico-MAP (10% de nitrógeno y 50% de fósforo P_2O_5).

- Se sugieren las siguientes cantidades:

| <i>Dosis de fósforo-P₂O₅ (gramos/planta) en la etapa de levante.</i> | | | | | | |
|--|-------|--------|-------|-------------------------|--------|-------|
| ----- Primer año ----- | | | | ----- Segundo año ----- | | |
| Mes 1 | Mes 6 | Mes 10 | Total | Mes 14 | Mes 18 | Total |
| 4 | | 5 | 9 | | 6 | 6 |

Dosis de fósforo-P₂O₅ (kg/ha/año) en la etapa de producción, ajustada al sistema de producción (dosis parcialmente menores a las máximas recomendadas).

| Densidad (plantas o ejes/hectárea) | ----- Porcentaje de sombra ----- | | |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Menor de 35% (Muy bajo) | Entre 35 y 45% (Bajo) | Entre 45 y 55% (Medio) |
| Mayor de 7.500 | 50 | 45 | 40 |
| Entre 5.000 y 7.500 | 45 | 40 | 35 |
| Menor de 5.000 | 40 | 35 | 25 |

En el caso de contar con los resultados de los análisis del suelo, se podrán realizar ajustes, según el nivel de fertilidad. En la etapa de levante, se podrá suspender la fertilización fosfórica, siempre y cuando el contenido de fósforo sea mayor de 30 mg/kg. Para la etapa de producción se recomiendan las siguientes dosis para sistemas sin sombra:

| Nivel de fósforo-P en el suelo (mg/kg) | ----- Densidad de plantas ----- | | |
|--|---------------------------------|---------------|---------------|
| | Mayor a 7.500 | 5.000 a 7.500 | Menor a 5.000 |
| P≤10 | 60 | 55 | 50 |
| 10>P≤20 | 40 | 40 | 35 |
| 20>P≤30 | 25 | 20 | 20 |
| P>30 | 0 | 0 | 0 |

Potasio-K

- Aunque la mayoría de los suelos del Huila son capaces de retener el potasio y no permitir que se pierda fácilmente por lixiviación, se requieren de dosis adecuadas para mantener la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantaciones. Una especial atención se merecen los municipios de Acevedo, Altamira, Campoalegre, Garzón, Guadalupe, La Plata, Neiva, Oporapa, Paicol, Palermo, Rivera, Santa María, Suaza, Tarqui, Tello, Teruel y Tesalia, donde fueron más frecuentes los lotes con niveles bajos y medios de potasio.

- En el caso de no contar con los resultados de análisis de suelos, en la etapa de levante suministrar 5 g/planta de K₂O a los 10 y 18 meses después del trasplante.

- Si se emplean bolsas grandes en la etapa de almácigo (17 cm x 23 cm) y se hace una mezcla de suelo y pulpa de café en relación 3 a 1, se podrá prescindir de la aplicación a los 10 meses.

- La principal fuente para proporcionar potasio la constituye el cloruro de potasio (KCl), con 60% del elemento (expresado como K₂O).

- En el caso de no contar con los resultados de análisis de suelos, suministrar las siguientes dosis, en la etapa de producción.

Dosis de potasio-K₂O (kg/ha/año) en la etapa de producción, ajustada al sistema de producción (dosis parcialmente menores a las máximas recomendadas).

| Densidad (plantas o ejes/ hectárea) | ----- Porcentaje de sombra ----- | | |
|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Menor de 35% (Muy bajo) | Entre 35 y 45% (Bajo) | Entre 45 y 55% (Medio) |
| Mayor de 7.500 | 260 | 250 | 220 |
| Entre 5.000 y 7.500 | 250 | 220 | 200 |
| Menor de 5.000 | 220 | 200 | 130 |

En el caso de contar con los resultados de los análisis del suelo se podrán realizar ajustes, según el nivel de fertilidad. Para la etapa de levante se podrá suspender la fertilización potásica, siempre y cuando el contenido de potasio sea mayor de 0,4 cmol_c/kg. Para la etapa de producción se recomiendan las siguientes dosis, las cuales se podrán ajustar según el nivel de sombra:

| Nivel de potasio-K en el suelo (cmol _c /kg) | ----- Densidad de plantas ----- | | |
|--|---------------------------------|---------------|---------------|
| | Mayor a 7.500 | 5.000 a 7.500 | Menor a 5.000 |
| K≤0,2 | 300 | 285 | 255 |
| 0,2>K≤0,4 | 260 | 150 | 220 |
| 0,4>K≤0,6 | 180 | 170 | 150 |
| 0,6>K≤0,8 | 140 | 130 | 120 |
| 0,8>K | 100 | 95 | 85 |

Calcio-Ca y magnesio-Mg

- Se sugiere proporcionar calcio como nutriente, sólo cuando el análisis del suelo así lo indique. En el caso de no contar con los resultados de esta herramienta, debe abstenerse de su aplicación.

- Durante la fase de crecimiento vegetativo (levante) podrán aplicarse 2,0 a 3,0 g/planta de magnesio-MgO a los 10 y 18 meses luego de la siembra. En el caso de emplear caliza dolomítica en la siembra o algunos meses después, se podrá excluir el magnesio de los planes de fertilización, al menos durante un año.

- Al aplicar magnesio de manera generalizada durante la fase reproductiva, las dosis pueden limitarse a 40 kg/ha/año de MgO. Para los municipios de Paicol, Acevedo y Tesalia es recomendable emplear 60 kg/ha/año de MgO. Las anteriores cantidades se pueden ajustar según la densidad de siembra y el nivel de sombra.

- Las principales fuentes para suplir los requerimientos de magnesio serían: óxido y sulfato de magnesio (90% y 25% de magnesio-MgO, respectivamente). El primero sería preferible en suelos más ácidos y el segundo cuando se quiera proporcionar también azufre (20% de S).

- Cuando se realizan aplicaciones de caliza dolomítica en dosis iguales o mayores a 1.000 kg/ha/año para la corrección de la acidez, se podrá excluir el magnesio de los planes de fertilización, al menos durante un año.

- De acuerdo con las isoterms de adsorción y, ante condiciones de deficiencia de calcio, se recomienda emplear fuentes de calcio que no sean muy solubles; particularmente en los municipios de Acevedo, Tesalia y Paicol, son preferibles las cales y el yeso.

Azufre-S

- Incluir este elemento en los planes de fertilización en la etapa de producción. Al respecto, las dosis no deben superar los 50 kg/ha/año para los cafetales tecnificados.
- Llevar a cabo prácticas de conservación de suelo ayudarán a mantener e incrementar la materia orgánica, la cual es una fuente importante de azufre. Lo anterior puede complementarse con la aplicación de abonos orgánicos.
- Las fuentes más comunes de azufre sería los sulfatos; entre ellas, los sulfatos de calcio, magnesio, potasio y de amonio.

Micronutrientes: hierro-Fe, manganeso-Mn, zinc-Zn, cobre-Cu y boro-B

- No deben suministrarse hierro, manganeso ni cobre vía fertilización.
- La deficiencia de boro puede llegar a reducir la producción de café, especialmente en Gigante, seguido por Guadalupe, Íquira, Isnos y San Agustín. Se podrá incluir este elemento en los planes de fertilización, siempre y cuando se detecten síntomas de sus deficiencias en el campo. Las dosis recomendadas para cafetales tecnificados varían entre 2,0 y 3,0 kg/ha/año. Adicionalmente, se sugiere emprender otras acciones como son aplicar abonos orgánicos (en particular pulpa) y proteger el suelo de la erosión.
- Tesalia, Agrado, Campoalegre, Hobo, Íquira, Nátaga, Neiva, Paicol, Rivera, Suaza y Teruel presentaron niveles relativamente bajos de zinc. En el caso que se detecten síntomas de su deficiencia, las dosis no deben superar los 3,0 kg/ha/año.

Sodio y salinidad

- Se recomienda no incluir la valoración de sodio ni la conductividad eléctrica en los análisis rutinarios de fertilidad del suelo.

Grados de fertilizantes

Si no se dispone de análisis de suelos, y basándose en los resultados obtenidos, se sugiere emplear fertilizantes con relaciones entre N, P₂O₅, K₂O, MgO y S cercanas a 6:1:5:1:1. Estos podrán obtenerse en la finca mediante la mezcla de fuentes simples.

Por ejemplo:



**6,0 sacos de urea + 1,0 saco de DAP + 4,5 sacos de KCl + 1,5 sacos de Kieserita.
La anterior mezcla generará el siguiente grado: 23-4-20-3(MgO)-2,4 (S).**

La dosis de esta mezcla para cafetales con muy baja sombra (menos de 30%) y altas densidades (más de 7.500 plantas/ha) sería de 1.300 kg/ha/año; cantidad que puede fraccionarse en dos o tres aplicaciones por año, según el caso.

En la industria podrá emplearse el grado comercial 23-4-20-3(MgO)-4(S), obtenido a partir de urea, MAP, KCl y Sulfato doble potasio y magnesio (Sadeghian y Duque, 2017).

Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas del suelo, a diferencia de muchas de las características químicas, son difíciles o casi imposibles de modificar. En muchas ocasiones, la pretensión debe enfocarse en mantenerlos y evitar que se degraden.

Densidad aparente

Dado que, en los municipios Agrado, Baraya, Campoalegre, Gigante, Suaza y Timaná, más del 80% de las muestras analizadas presentan una alta densidad aparente (mayor de 1,2 g/cm³), deben realizarse prácticas que contribuyan a reducir su impacto. Una situación similar, pero de menor magnitud ocurre en Algeciras, Elías, Guadalupe, Hobo, Pital, Rivera, Santa María y Tarqui. Entre las principales prácticas para disminuir los valores de esta propiedad están el uso de abonos y residuos orgánicos.

Capacidad de almacenamiento de agua aprovechable

En los municipios Agrado, Campoalegre, Garzón, Gigante, Guadalupe, Hobo, La Argentina, La Plata, Nátaga, Paicol, Palermo, Pital, Pitalito, Rivera, Tarqui y Tesalia, así como en Acevedo y Teruel, donde la capacidad del suelo para retener el agua aprovechable para la planta fue relativamente baja, deben integrarse prácticas como manejo de coberturas muertas, el uso de abonos y residuos orgánicos, el establecimiento de sombrío temporal y permanente, la siembra en épocas adecuadas y manejo integrado de las arvenses. En los demás municipios la situación resulta más favorable, en especial para Aipe, Algeciras, Altamira, Baraya, Colombia, Elías, Íquira, Oporapa, Palestina, Saladoblanco, San Agustín, Santa María y Timaná.

Textura

Los municipios que requieren mayor atención son Baraya y Tello, seguidos de Algeciras, Colombia, Íquira, Isnos, Palermo, Pitalito y San Agustín, debido a que los problemas están asociados principalmente a texturas arcillosas (encharcamiento, drenaje imperfecto y aireación limitante), por lo tanto, las acciones podrán enfocarse a la construcción de zanjas de drenaje, el uso de enmiendas que contribuyan a mejorar la estructura del suelo, su aireación y la porosidad, entre otros, como abonos orgánicos, cascarilla de arroz y residuos de café y arvenses.

Épocas de fertilización

Las plantas de café absorben los nutrientes sólo cuando el suelo está húmedo; además, se necesita del agua para disolver los fertilizantes. La decisión de aplicar el fertilizante debe basarse en la disponibilidad de agua, la cual está gobernada principalmente por la cantidad y la distribución de las lluvias (Sadeghian *et al.*, 2017).

Es necesario procurar que al momento de realizar la fertilización el suelo esté húmedo en los primeros 10 cm, por la acción de las lluvias, en los días previos a la labor; así mismo, que exista una alta probabilidad de que siga lloviendo durante los dos próximos meses, para que el suelo permanezca húmedo.

Cuando la distribución de la precipitación es de tipo bimodal, generalmente se recomienda realizar la aplicación al inicio de cada época lluviosa. En el caso que fuese unimodal, se sugiere llevar a cabo la primera fertilización al comenzar el período lluvioso y la segunda dos a tres meses antes de que finalicen la temporada húmeda.

De acuerdo con el régimen de lluvia y la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para años con comportamiento “Neutro” se recomienda fraccionar la fertilización dos veces al año. La correspondiente al primer semestre debe realizarse a inicios del mes de marzo, siempre y cuando se garantice la humedad en el suelo, y aplica para todos los municipios, debido a que esta época está precedida de días lluviosos y existe una alta probabilidad de que en los meses abril y mayo se sigan presentando lluvias.

La recomendación para el segundo semestre en el departamento va desde inicios de septiembre hasta inicios de octubre, debido a que los municipios presentan diferencias en la cantidad de lluvia en el mes de septiembre. En razón de lo anterior, se recomiendan las siguientes épocas para la fertilización, según la localidad:

- **Inicios de septiembre:** Acevedo, Baraya, Colombia, Guadalupe, Palestina, Pitalito, San Agustín, Suaza y Timaná.
- **Mediados de septiembre:** Algeciras, Altamira, Elías, Garzón, Gigante, Isnos, Oporapa, Salado blanco y Tello.
- **Inicios de octubre:** Agrado, Aipe, Campoalegre, Hobo, Íquira, La Argentina, La Plata, Nátaga, Neiva, Paicol, Palermo, Pital, Rivera, Santa María, Tarqui, Teruel y Tesalia.

En los años con comportamiento “La Niña”, para los municipios con precipitación mayor de 1.800 mm/año (Acevedo, Aipe, Colombia, Íquira, Nátaga, Palestina, Suaza y Tesalia), se sugiere fraccionar la fertilización tres veces al año.

En los años con comportamiento “El Niño”, para los municipios con precipitación menor a 1.500 mm año y suelos con baja capacidad de almacenamiento de agua (Campoalegre, Agrado, Garzón, Gigante, Hobo, Pital, Rivera y Tarqui) debe tenerse extremo cuidado en no retrasar la época de aplicación y realizarla una vez inicien las lluvias, es decir, dos veces al año.

Literatura citada

Sadeghian K., S.; Duque O., H. (2017). Formulación general de fertilizantes: Alternativas para una nutrición balanceada de los cafetales en Colombia. *Avances Técnicos No. 483*. Manizales: CENICAFÉ, 4 p.

Sadeghian K., S. (2008). Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: *Guía práctica. Boletín Técnico No. 32*. Chinchiná: CENICAFÉ, 43 p.

Sadeghian K., S.; Duque O., H. (2017). Nutrición de los cafetales en Colombia: En escenarios El Niño. *Avances Técnicos No. 477*. Manizales: CENICAFÉ, 12 p.



Pablo Benavides Machado

*Investigador Científico III
Disciplina de Entomología*

Laura Alexandra Laiton Jiménez

*Asistente de Investigación
Disciplina de Entomología*

Ferney López Franco

*Asistente de Investigación
Disciplina de Entomología
Cenicafé*



5

Alertas tempranas para el manejo de plagas

**“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”**



EL CLIMA

“Su relación con la producción y las plagas en el Departamento del Huila”

El seguimiento al clima, las floraciones y la aparición de plagas ayudan a entender las dinámicas biológicas que permiten establecer alertas tempranas.



Una alerta temprana es una advertencia ante eventos que pueden afectar la producción o calidad del café.

Para establecer alertas tempranas en el departamento del Huila se seleccionaron dos transectos altitudinales en regiones productivas de los municipios de Pitalito y La Plata - La Argentina, donde se presentan limitantes de plagas. En cada uno se evaluaron:



Pitalito se seleccionó porque es el municipio con mayor producción de café en Colombia. El 40,7% de sus cafetales se encuentran establecidos con variedades susceptibles a la roya del cafeto, lo que hace vulnerable la producción de café del municipio. Adicionalmente, posee caficultura por debajo de los 1.400 m de altitud con temperaturas medias superiores a 21°C, vulnerables al ataque de la broca del café (Figura 1).

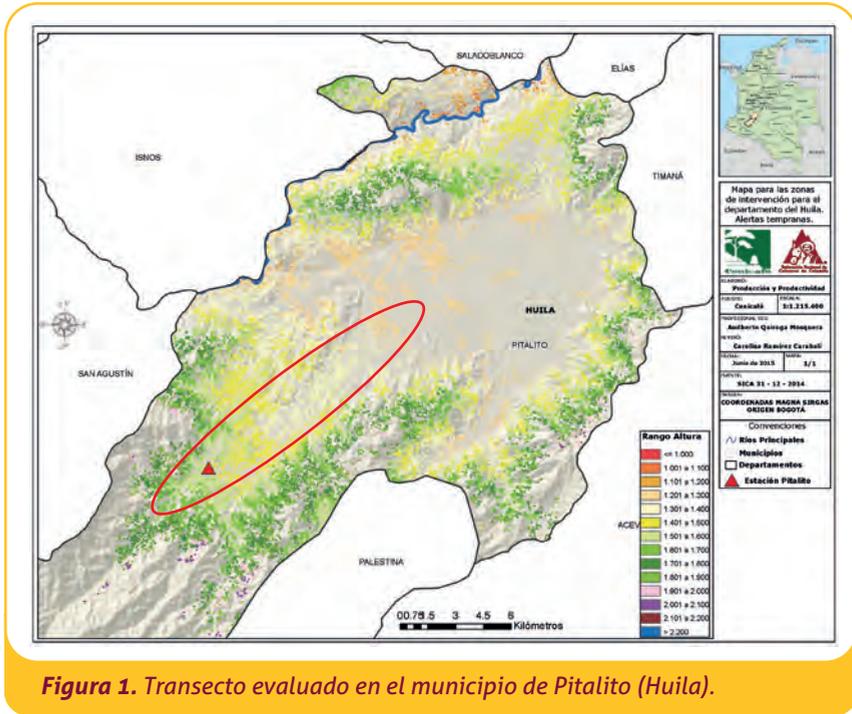


Figura 1. Transecto evaluado en el municipio de Pitalito (Huila).

El municipio de La Plata se eligió porque posee los primeros registros de ataque del insecto plaga denominado la chinche de la chamusquina del café, la cual se percibe como limitante de la producción de café en el Huila, y actualmente se ha reportado en al menos siete municipios del departamento. Históricamente, se reconocen problemas fitosanitarios por broca y araña roja en las menores altitudes (Figura 2).

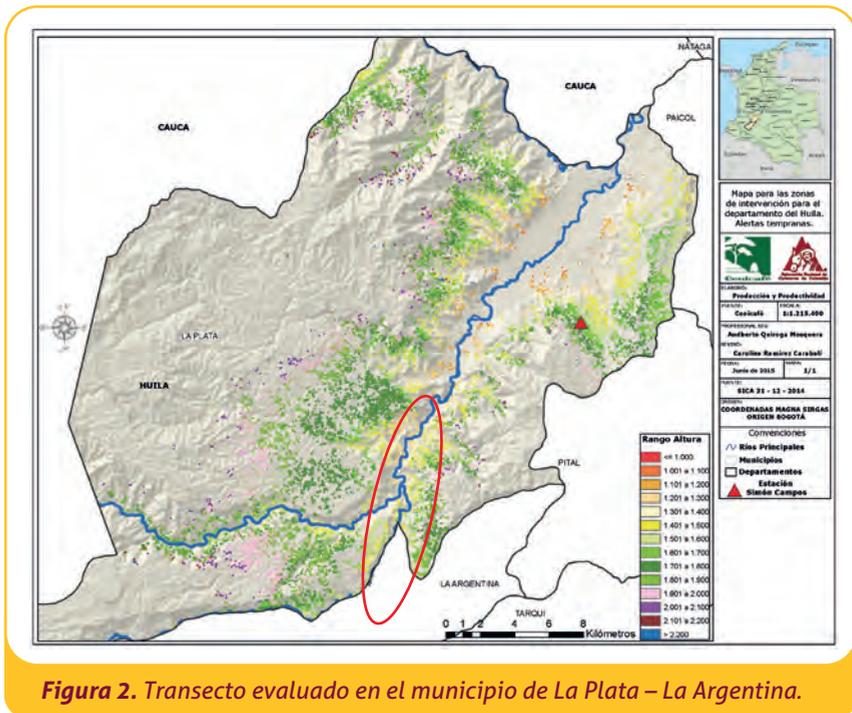


Figura 2. Transecto evaluado en el municipio de La Plata – La Argentina.

El clima

El clima determina los procesos fisiológicos de las plantas del café y el desarrollo de las plagas. La cantidad de lluvia y su distribución determinan la magnitud y la duración de los períodos secos y húmedos de una región, y estos a su vez condicionan la dinámica del crecimiento vegetativo y reproductivo del café, la concentración de la floraciones, el desarrollo del fruto y la cosecha.

Caracterización del clima de los transectos Pitalito y La Plata - La Argentina, en cuatro altitudes

La humedad relativa fue diferente entre transectos, durante los meses de junio a septiembre de 2017 y 2018. El transecto de Pitalito fue más húmedo que el de La Plata (Figura 3), con valores entre 75% y 85% en Pitalito (Figura 5) y entre 69% y 86% en La Plata – La Argentina (Figura 5), siendo similar en todas las altitudes que componen cada transecto (Figuras 4 y 5).

La temperatura fue similar entre los dos transectos (Figura 3); sin embargo, en Pitalito se observaron diferencias en la temperatura media anual entre las altitudes evaluadas, las cuales oscilaron entre 0,7 y 1,0°C. **A menor altitud mayor temperatura media, con un aumento en 0,66°C por cada 100 m de descenso en la altitud.**

En general, el mes más frío del año fue julio mientras que los meses más calientes fueron noviembre a diciembre. La diferencia en temperatura entre la caficultura de menor y mayor altitud fue de 4,0°C (Figura 4). Del mismo modo, **en La Plata-La Argentina se presentaron diferencias en la temperatura media anual entre las altitudes, que oscilaron entre 0,4 y 1,1°C, con un aumento en 0,52°C por cada 100 m de disminución en la altitud.** Al igual que en Pitalito, el mes más frío fue julio (Figura 5).

El período de mayor precipitación de Pitalito se presentó a mediados de año, mientras que en La Plata - La Argentina ocurrió finalizando el año (Figura 3).

En Pitalito no se presentaron períodos secos marcados en las altitudes superiores a 1.600 m, pero en las menores altitudes se presentaron períodos secos al final e inicios de cada año evaluado (Figura 4).

En la Plata - La Argentina el patrón de lluvias mostró déficit hídrico en todo el transecto casi todo el año. Los meses más secos fueron julio, agosto y septiembre (Figura 5).

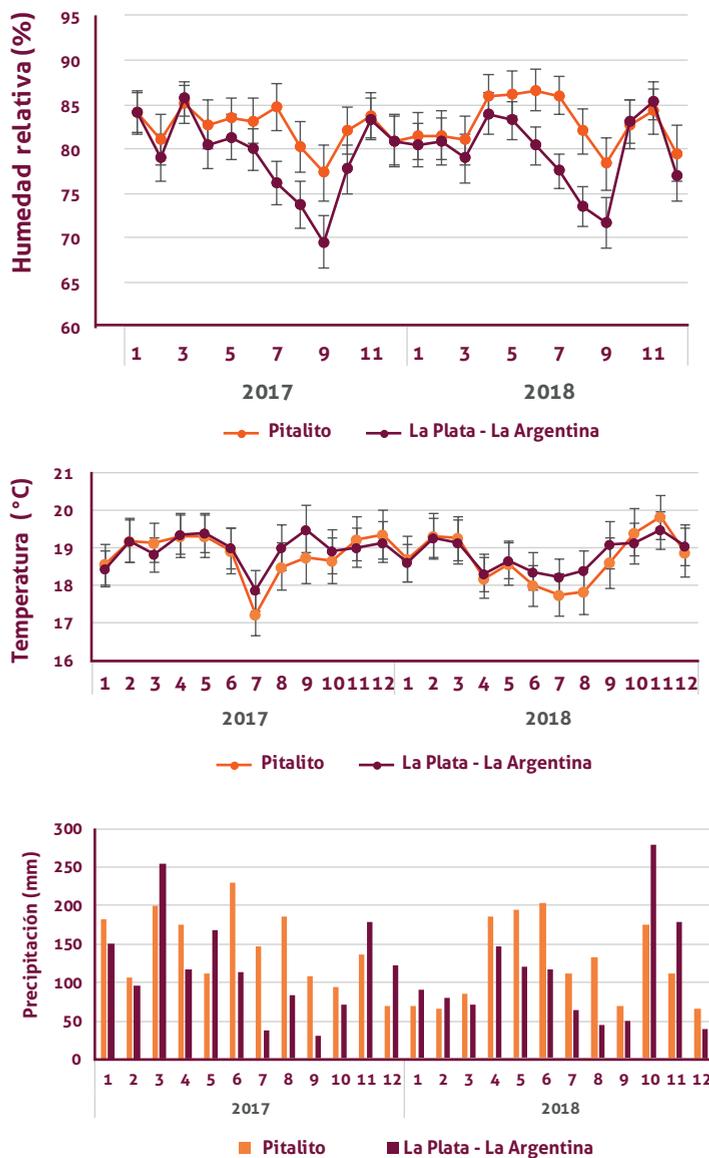


Figura 3. Humedad relativa media, temperatura media y precipitación promedio mensual de los transectos evaluados en los municipios de Pitalito y La Plata - La Argentina.

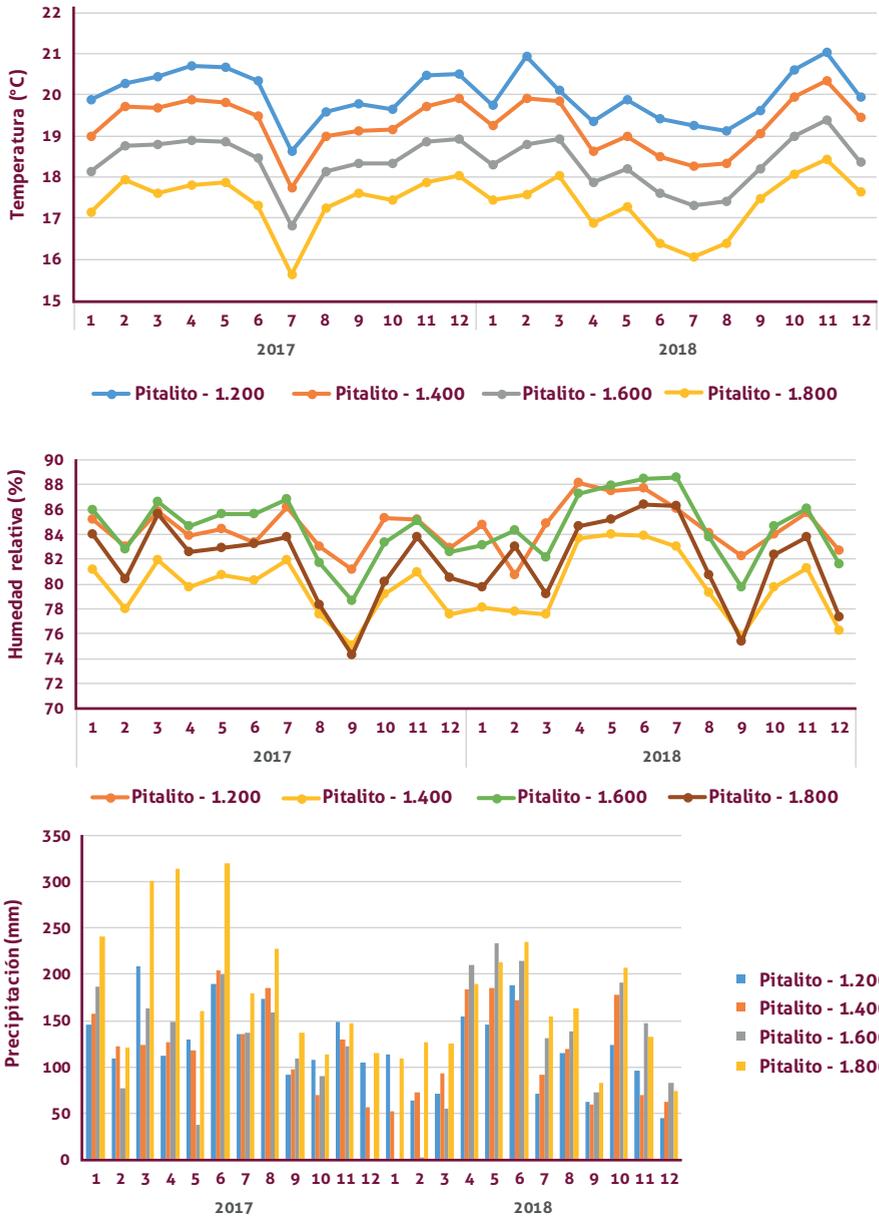


Figura 4. Temperatura media, humedad relativa media y precipitación de los cuatro perfiles altitudinales del transecto evaluado en el municipio de Pitalito (Huila).

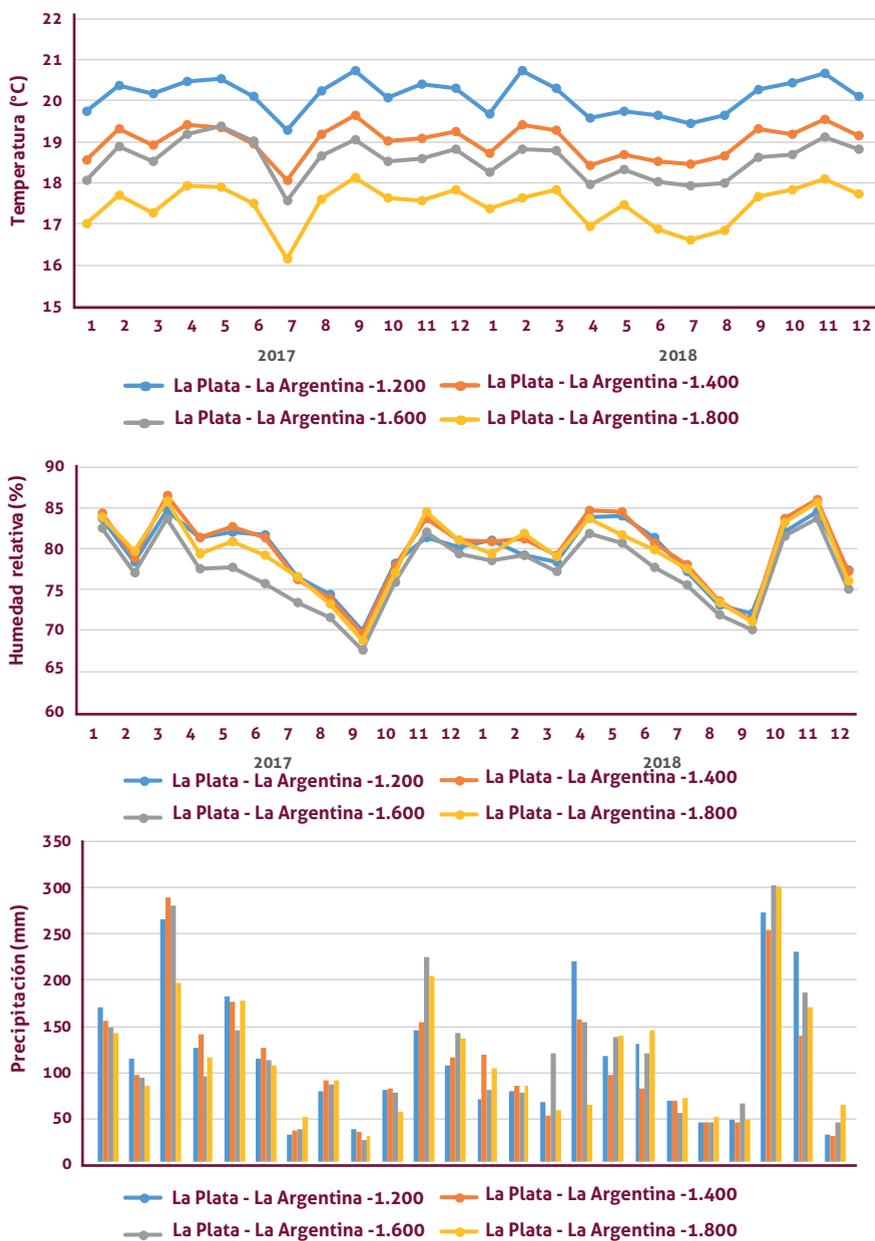


Figura 5. Temperatura media, humedad relativa media y precipitación de los cuatro perfiles altitudinales del transecto evaluado en el municipio de La Plata - La Argentina (Huila).

Floraciones del café

Conocer los patrones de floración de los cafetales permite determinar los momentos oportunos de manejo de las plagas del cultivo. Para el manejo de la broca es necesario iniciar su control 120 días después de las floraciones que responderán por las cosechas principales.

La caficultura en Colombia está influenciada por el comportamiento de las variables climáticas en las diferentes zonas agroecológicas de cada región, los cambios asociados a la disponibilidad hídrica en el suelo, la temperatura del aire y el brillo solar afectan directamente la fenología del cultivo, permitiendo identificar los patrones de distribución de la floración y, con ello, realizar la proyección de la cosecha.

Floración del transecto Pitalito. El patrón de floraciones en los cafetales del municipio de Pitalito fue diferente entre las altitudes, pero similar entre las variedades de café susceptibles y resistentes a la roya.

Los períodos marcados de meses secos en las altitudes inferiores de 1.500 m contribuyeron a la formación de una floración principal al año en el primer semestre, lo cual determina una cosecha principal durante el segundo semestre, donde se recolecta alrededor del 90% del volumen anual de café; mientras que, la permanente disponibilidad hídrica en las altitudes superiores, contribuyó a floraciones dispersas, es decir, se distribuyó la cosecha de café durante la mayor parte del año.

Los eventos de floraciones y las proporciones fueron similares en las variedades Caturra y Castillo® (Figura 6).



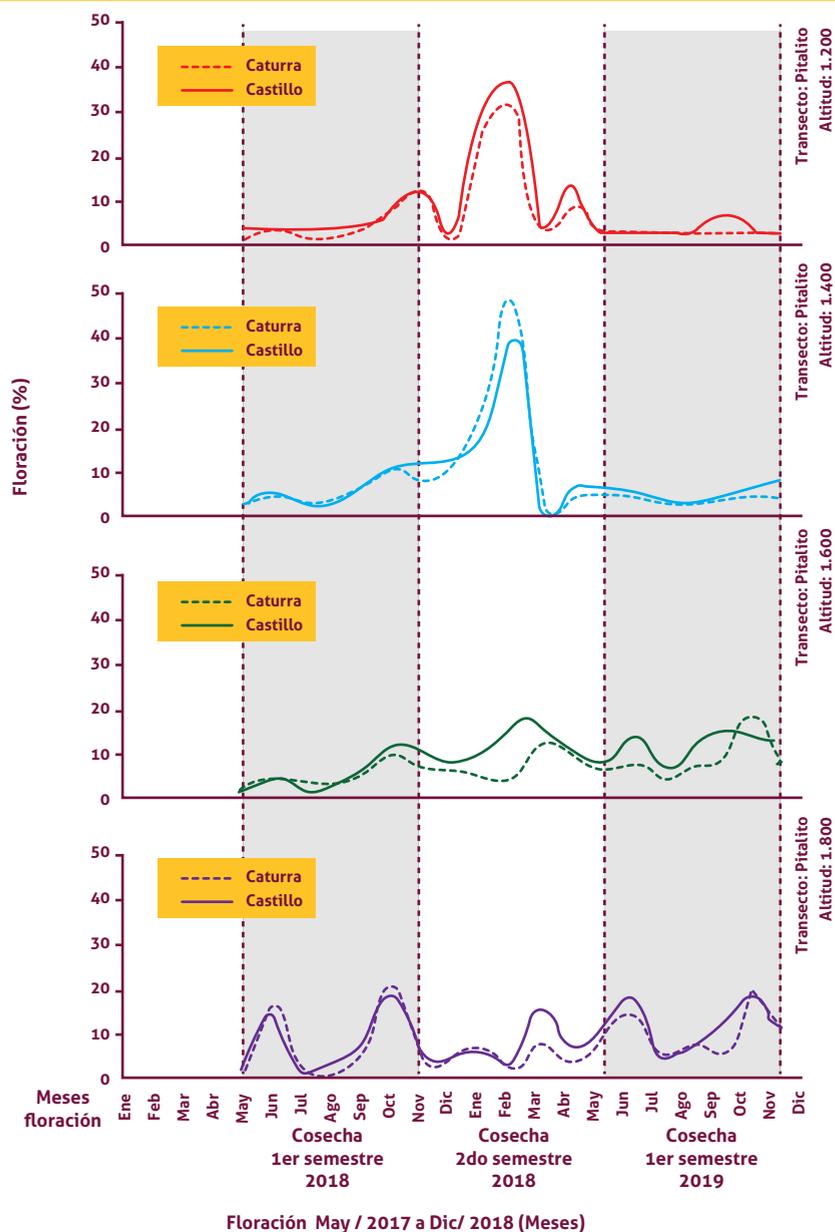


Figura 6. Dinámica de la floración de los cuatro perfiles altitudinales del transecto Pitalito, de la variedad susceptible (var. Caturra) y resistente (var. Castillo®) en el período de mayo de 2017 a diciembre de 2018 (floraciones correspondientes a la cosecha 2018-2019).

Floración del transecto La Plata – La Argentina: En los cafetales de este transecto se registraron eventos de floraciones importantes en los dos semestres del año. Esto proyectaría dos cosechas principales al año, una en cada semestre (Figura 7).

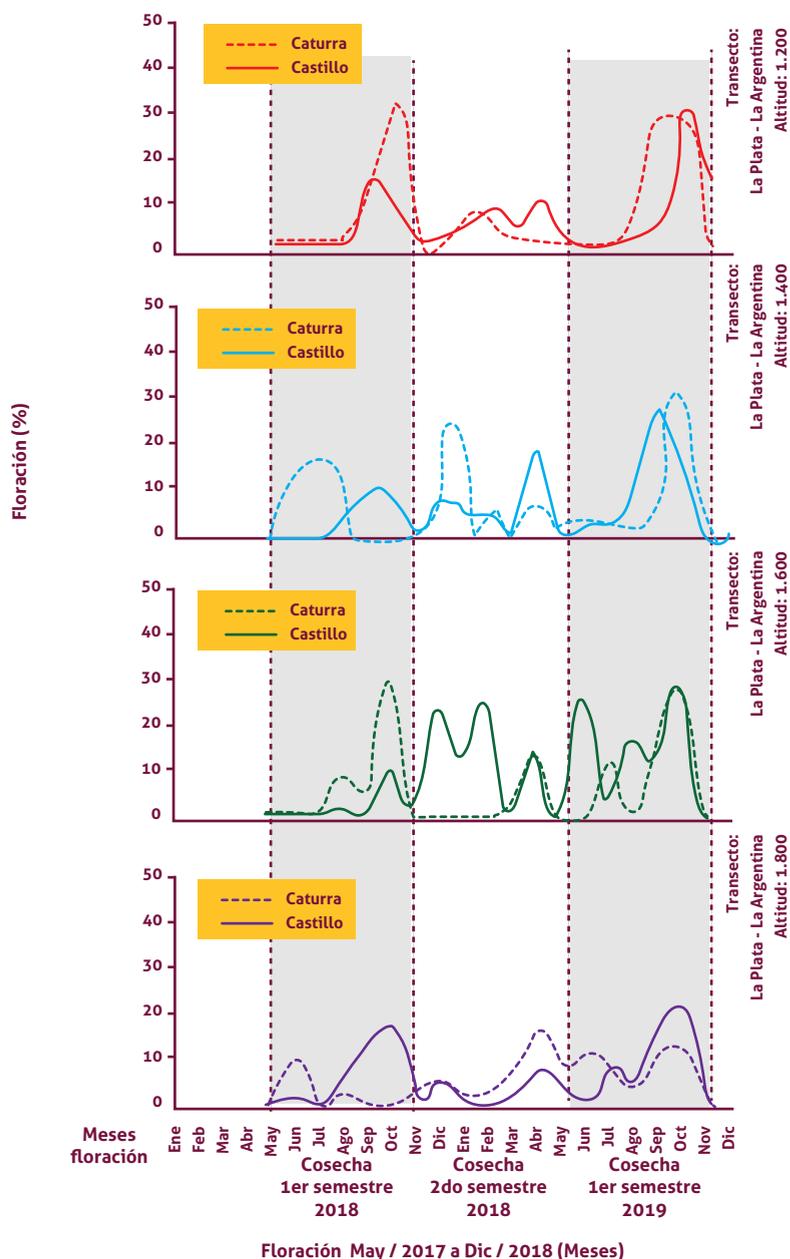


Figura 7. Dinámica de la floración de los cuatro perfiles altitudinales del transecto La Plata – La Argentina, de la variedad susceptible (var. Caturra) y resistente (var. Castillo®) en el período de mayo de 2017 a diciembre de 2018 (floraciones correspondientes a la cosecha 2018-2019).

Plagas del café

De todas las plagas que afectan el cultivo del café en el departamento del Huila, la broca y la chamusquina son las más limitantes.

La broca en el transecto de Pitalito

La broca del café es la principal plaga del cultivo en Colombia. Es un coleóptero monófago, es decir, que se alimenta solo de los granos del café. La temperatura óptima para su desarrollo está entre 18 y 22°C. El daño en el grano del café es causado por las hembras, quienes lo perforan e ingresan a su interior donde depositan sus huevos, a razón de dos a tres por día, durante 25 días. Las larvas que emergen de ellos se alimentan del grano del café hasta alcanzar el estado adulto. Los adultos emergidos se quedan en el interior del grano hasta que la humedad del ambiente sea favorable para salir a colonizar nuevos frutos en el árbol. El ciclo desde huevo hasta adulto puede durar hasta 60 días, siendo más corto cuando la temperatura es más alta (Figura 8).



Figura 8. Duración del ciclo biológico de la broca del café.

Los frutos de café de diferentes edades de desarrollo pueden ser atacados por la broca; sin embargo, la broca solo coloca huevos en aquellos frutos que tienen más de 120 días de desarrollo. Si la broca ataca frutos de café menores a 90 días, esta se queda en el canal de penetración esperando que la almendra alcance la consistencia óptima para iniciar la oviposición. Durante este tiempo puede ocurrir que el fruto se caiga o que la hembra busque otro fruto. Por esto, el período crítico del ataque de la broca comienza 120 días después de las floraciones principales y se extiende hasta el comienzo de la cosecha como se muestra en la Figura 9 (Benavides *et al.*, 2013).

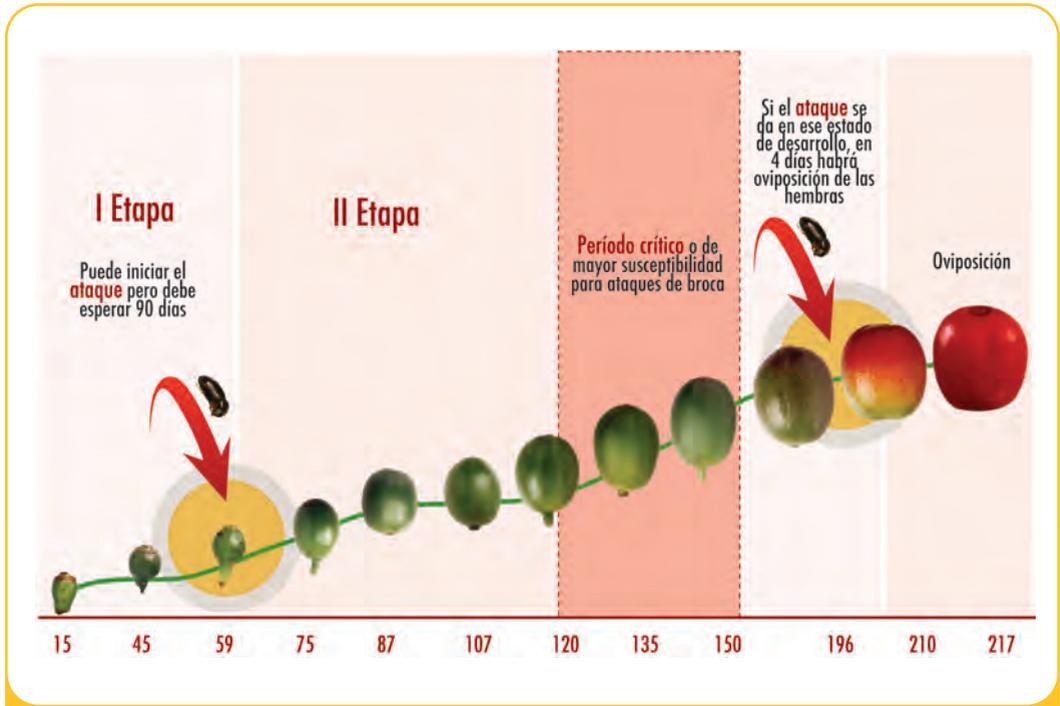


Figura 9. Desarrollo del fruto y la relación con los períodos críticos de ataque por la broca del café.

Seguimiento a la broca del café en el transecto Pitalito

Los resultados del seguimiento a la plaga mostraron que la presión de la broca del café es mayor en las menores altitudes, esto dado a las altas temperaturas que allí se presentan (Figura 10).

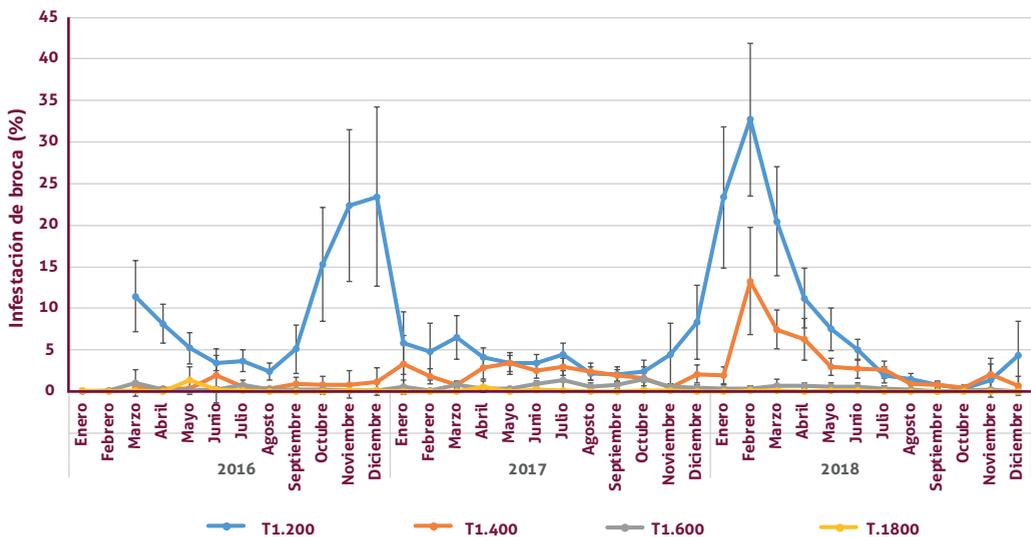
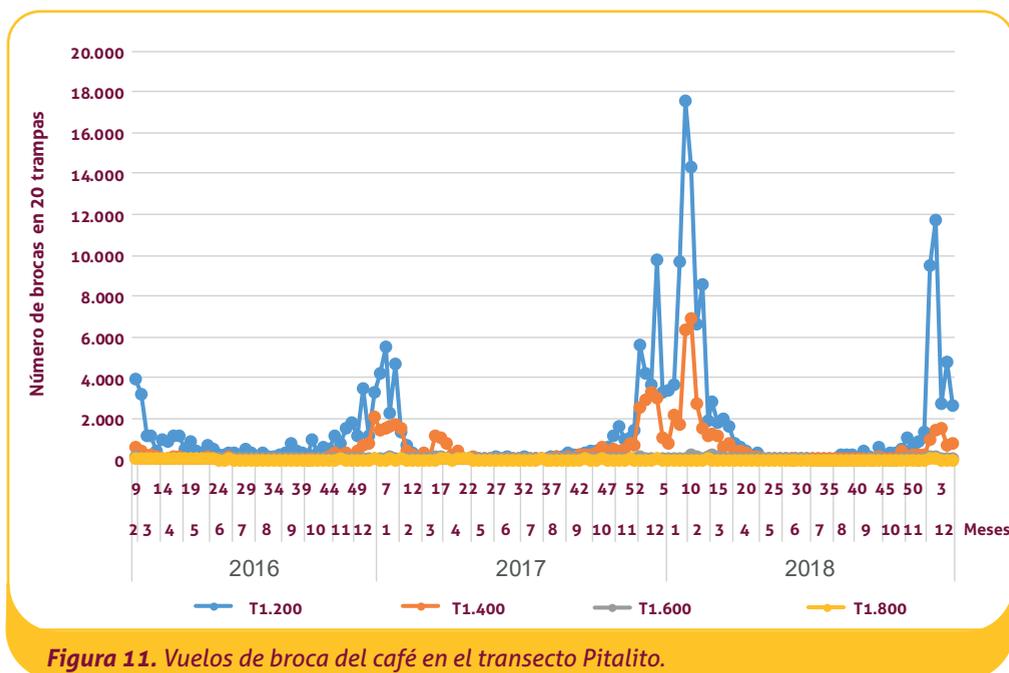


Figura 10. Infestación de broca del café en el transecto Pitalito.

De forma consecuente, los vuelos de adultos de la broca del café registrados, muestran que se captura una mayor cantidad de brocas en las menores altitudes, es decir, existe mayor dispersión de broca en las menores altitudes (Figura 11).



La chamusquina en el transecto La Plata – La Argentina

la chinche de la chamusquina del café es una plaga que se alimenta de hojas, tallos, brotes y flores de café, causando daños que se manifiestan como manchas y quemazones, lo cual impide el normal desarrollo fisiológico de la planta y disminuye la producción (Ramírez *et al.* 2008). Tanto las ninfas (Figura 12A) como los adultos (Figura 12B), se alimentan principalmente de los brotes tiernos de la planta; inmediatamente después de insertar su estilete (pico) en la hoja, aparece una mancha clara que en pocos minutos se torna de color café (Figura 13).



Figura 12. Chinche de la chamusquina del café, *Monalonion velezangeli*. A. Ninfa; B. Adulto.

Las lesiones de la chamusquina en las plantas de café varían en forma y tamaño, y dependen principalmente del estadio biológico de la chinche. Las lesiones frescas (recién hechas) son de consistencia húmeda y de color café claro (Figura 13A), mientras que las lesiones viejas son secas y oscuras, y en los brotes se observa necrosis y enroscamiento (Figura 13B).



Seguimiento a la chamusquina en en el transecto La Plata - La Argentina

Durante el seguimiento a esta plaga en los transectos altitudinales se reportó la presencia de la chinche de la chamusquina del café en altitudes menores a los 1.400 m en La Plata - La Argentina, aunque con un porcentaje menor de 0,5% de brotes nuevos afectados (Figura 14). Los mayores ataques se registraron a altitudes superiores a los 1.600 m, con niveles hasta del 19% de brotes con daños (Figura 14).

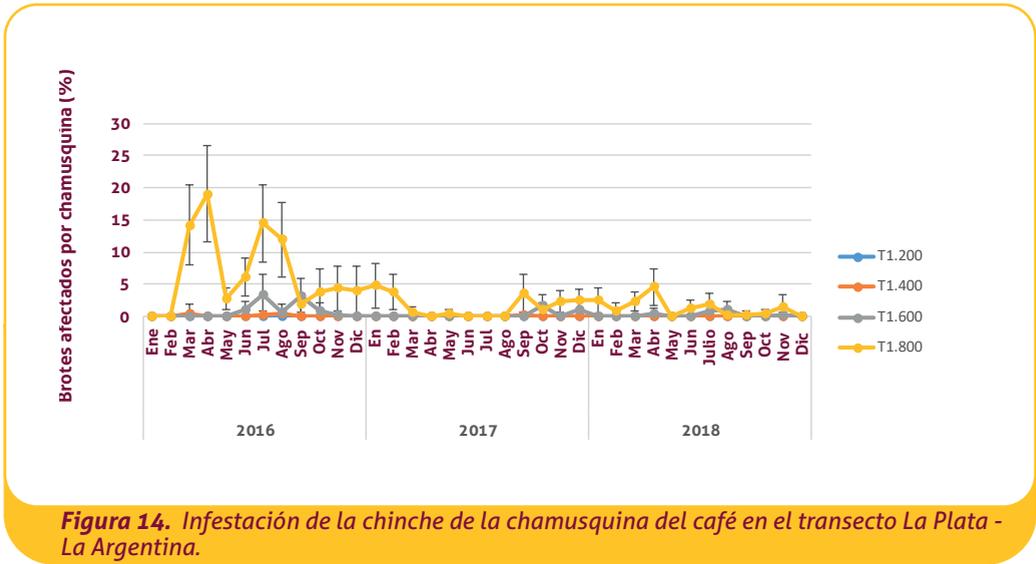


Figura 14. Infestación de la chinche de la chamusquina del café en el transecto La Plata - La Argentina.

Alertas tempranas

Una alerta temprana es una herramienta que se utiliza para dar aviso anticipado de la aproximación de un evento que puede causar daño a los cafetales y afectar la producción o la calidad. La alerta temprana para **la broca** se da en función de las floraciones y la fenología del cultivo según el transecto y la altitud.

Broca

La reproducción, desarrollo y dispersión de la broca del café se ve favorecida a temperaturas mayores de 21,0°C (Constantino, 2014). De esta manera, se presenta un mapa con las temperaturas promedio de los municipios cafeteros del departamento de Huila, con la vulnerabilidad de los cafetales al ataque de la broca (Figura 15).

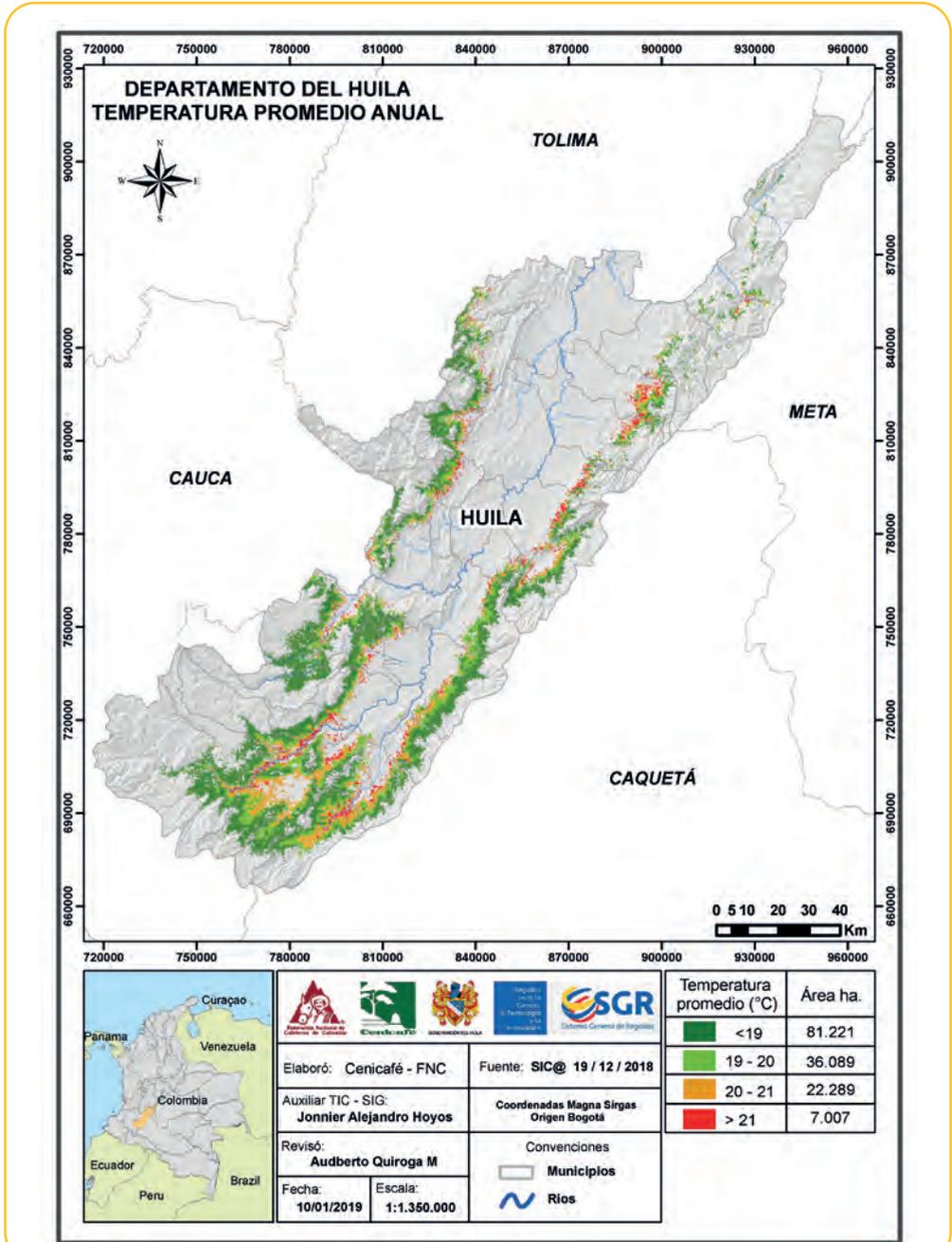


Figura 15. Mapa de vulnerabilidad al ataque de la broca del café basado en la temperatura media.

En condiciones Neutras, en el Huila se tienen 7.007 ha de café vulnerables al ataque de la broca, ya que se encuentran en temperaturas superiores a los 21,0°C. Cuando se presenta el fenómeno de El Niño, esta vulnerabilidad aumenta en 4,18 veces, es decir, que 29.296 ha serían susceptibles.

Recomendaciones para el Manejo Integrado de la Broca del café en los transectos Pitalito y La Plata - La Argentina

Los patrones de floración que mostraron los transectos de Pitalito y La Plata - La Argentina, indican que en ambos transectos se presentan dos períodos de cosecha al año, en Pitalito la cosecha del segundo semestre corresponde a un 90% del café recolectado en el año. Por el contrario, en La Plata – La Argentina, existen dos cosechas.

Las recomendaciones para el manejo de la broca del café en estos dos municipios se construyeron teniendo en cuenta la dinámica de las floraciones en los cafetales ubicados entre 1.200 y 1.500 m de altitud (Figuras 6 y 7), rango altitudinal más vulnerable al ataque de la broca.



Durante todo el año deben llevarse a cabo ciertas prácticas para el manejo de la broca del café a partir de las floraciones (Figura 16). A continuación, se describen cada una de las prácticas relacionadas para Pitalito (Figura 17) y para La Plata – La Argentina (Figura 18).

Período crítico

El período crítico para el ataque de la broca comienza 120 días después de las floraciones y se extiende hasta la cosecha. Durante este tiempo deben realizarse evaluaciones de infestación y posición de broca, lo que permite determinar las recomendaciones de manejo. Para ello, hay que tener en cuenta:

- Si la evaluación indica que hay más del 2% de infestación de broca (umbral de acción) y más del 50% de la broca se encuentra en posición A y B, debe aplicarse un insecticida.

El insecticida usado puede ser químico o biológico, dependiendo de las condiciones climáticas y el período de carencia (Tabla 1).

Tabla 1. Insecticidas recomendados para el control de la broca del café.

| Ingrediente Activo | Grupo químico | Período de carencia (días) |
|---|--------------------------------------|----------------------------|
| fentoato | Organofosforado | 30 |
| fenitrothion | Organofosforado | 30 |
| clorpirifos | Organofosforado | 30 |
| tiametoxam + chlorantranilprole (voliam flexi) | Neonicotinoide + Diamida antranilica | 14 |
| cyantranilprole (preza) | Diamida antranilica | 7 |
| Beauveria bassiana | | 0 |

Cosecha

Durante la recolección y el beneficio de café cereza es necesario realizar las siguientes labores para evitar la dispersión de la broca:

- Utilizar costales de fibra en buen estado y mantenerlos amarrados durante el tiempo que permanezcan dentro del cafetal.
- Pesar dos veces al día el café en cereza, al mediodía y en la tarde.
- Depositar el café en cereza en la tolva de recibo inmediatamente después del pesaje y cubrirla con un plástico impregnado de pegante.
- Sacar las pasillas y los flotes resultantes del beneficio del café en marquesinas plásticas o en el silo mecánico, o en su defecto solarizar este café antes de secarlo al sol.
- Para solarizar las pasillas y los flotes, deben depositarse en un recipiente plástico, cubierto con plástico durante 48 horas o cubrir con un plástico la helda de secado del café, durante 48 horas.

Repase

El repase se define como la recolección de frutos de café secos, sobremaduros, maduros y pintones de los árboles, y si es necesario del suelo, una vez hayan finalizado los períodos de cosecha principal y mitaca. Es decir, el repase como práctica de control cultural de la broca del café debe realizarse dos veces en el año donde hay dos cosechas. El repase complementa la recolección oportuna de los frutos maduros, y ambas estrategias se denominan Re-Re.

- Esta práctica debe realizarse dos a tres semanas después del último pase de cosecha, que generalmente coincide con el período crítico del ataque de la broca.
- El repase protege los frutos en formación de la cosecha siguiente; de esta manera, si existe una cosecha mitaca de menor proporción, el repase posterior a esta protegerá la cosecha principal.

Cosecha sanitaria

A diferencia del repase, la cosecha sanitaria consiste en recoger con guantes de vaqueta, carnaza o ingeniero, la totalidad de los frutos que quedan en los árboles. Cuando se eliminan la mayoría de los frutos y con ello, las brocas que hay en su interior, se rompe el ciclo biológico de la broca y se reduce la infestación en la cosecha siguiente. Esta práctica se realiza solo antes del zoqueo.

Zoqueo y eliminación

Esta práctica se utiliza para renovar los cafetales envejecidos o establecer siembras de nuevas variedades. El zoqueo se realiza una vez finalizada la cosecha principal y en período seco, para evitar el desarrollo de enfermedades. Para ello deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Dejar dos surcos de árboles trampa.
- Hacer el desrame de los árboles, excepto de los árboles trampa. Cosechar los frutos maduros de los árboles trampa cada 15 días, y eliminar los árboles después de dos meses y medio, luego de hacer la cosecha sanitaria.
- Evaluar el porcentaje de broca en los primeros surcos de los cafetales vecinos. Si es necesario, aplicar un insecticida químico o biológico (Tabla 1).

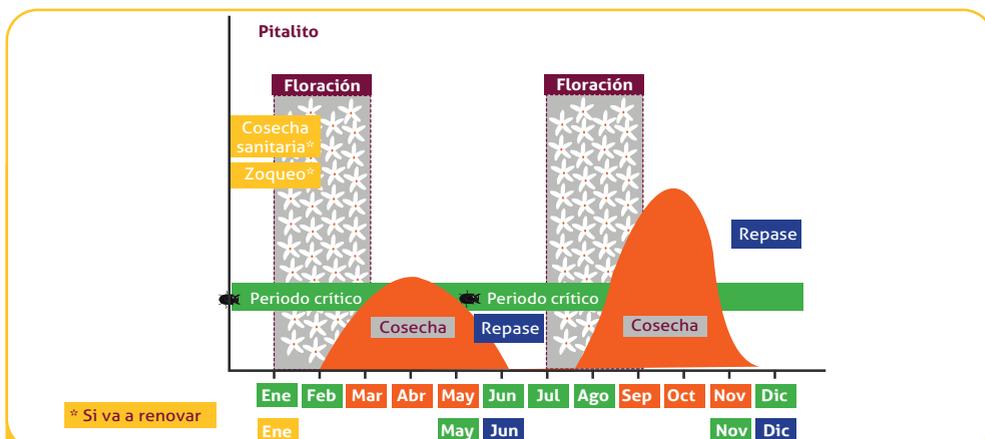


Figura 17. Recomendaciones calendario para el manejo de la broca del café en el transecto de Pitalito, basado en la proyección de las floraciones registradas. *De ser necesario

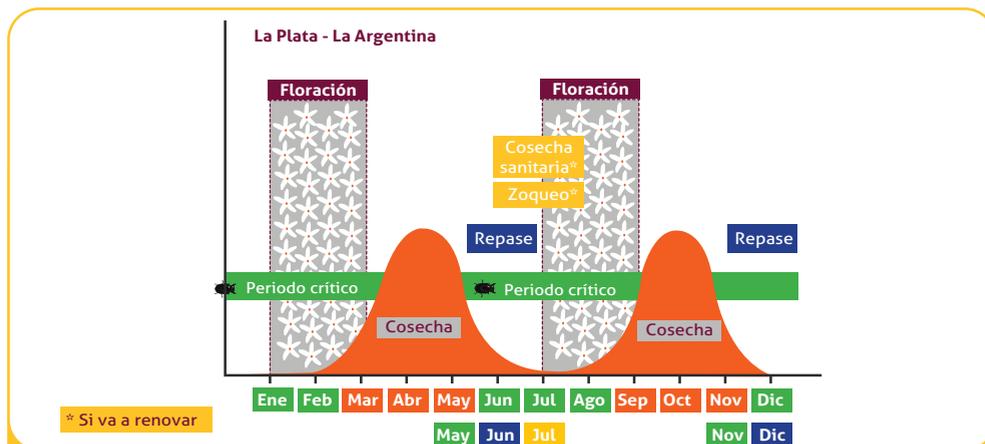


Figura 18. Recomendaciones calendario para el manejo de la broca del café en el transecto de La Plata - La Argentina basado en la proyección de las floraciones registradas. *De ser necesario

Validación del Manejo Integrado de la Broca del café (MIB) en el campo

Las prácticas culturales para el control de la broca del café han demostrado ser las más efectivas. Con el objetivo de validar los diferentes componentes del MIB en Pitalito (Huila), se tomó un lote de café y se dividió en cuatro parcelas experimentales, correspondiendo a los siguientes tratamientos: T1 Control biológico, T2 Control químico, T3 Control cultural y T4 Testigo (manejo implementado por el agricultor). El control cultural consistió en la cosecha oportuna y el repase con recolección de frutos del suelo asistida con dispositivos “canastillas”. Se evaluó la infestación de broca en el campo y en el café pergamino seco.

El estudio mostró que el mejor método de control fue el cultural, con el cual se logró una reducción del 76% de la infestación en el campo (Figura 19) y del 54% en el café pergamino seco (Figura 20). Con este método, tanto en el campo como en café pergamino seco hubo diferencias significativas cuando fue comparado con las otras estrategias de control. De esta forma, se pudo comprobar que el MIB, disminuye y mantiene los niveles de la broca por debajo del daño económico y que la recolección de la broca del suelo con “canastillas” es una práctica viable económicamente y con impacto en la disminución de este insecto.

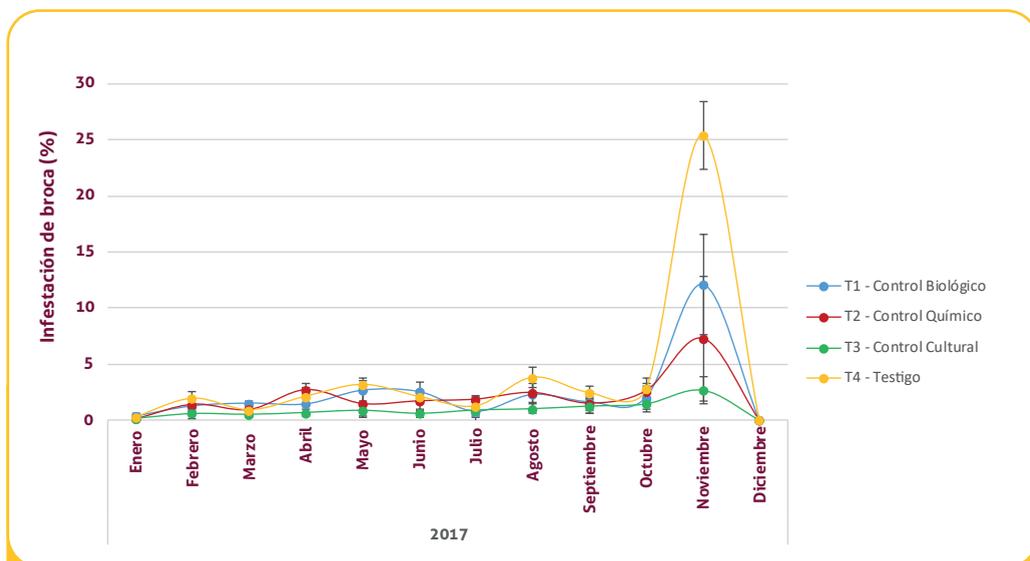


Figura 19. Evaluación de la infestación de broca en el campo de acuerdo con los componentes del manejo integrado de la broca.



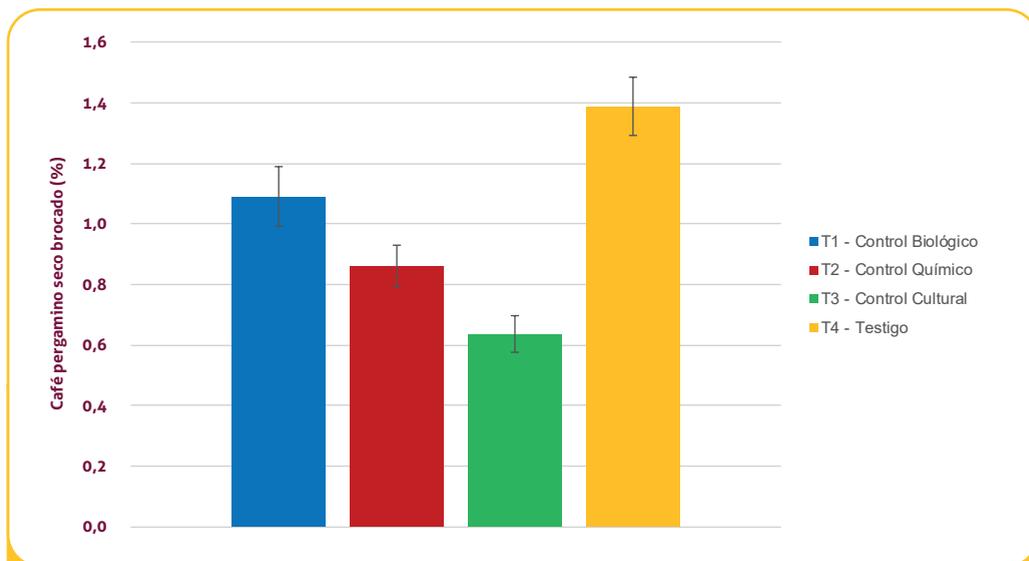


Figura 20. Infestación de broca café en el pergamino seco.

Chamusquina

La alerta temprana para la chamusquina del café en el transecto de La Plata - La Argentina, se construyó con los objetivos de:

1. Alertar a los municipios que, por condiciones orográficas, altitudinales y climáticas, tienen zonas vulnerables al ataque de la plaga.
2. En aquellas zonas donde la plaga ya está establecida, identificar la dinámica del clima que puede estar asociada con el aumento en los ataques de la chamusquina.

Diagnóstico departamental de chamusquina

Con el fin de identificar las zonas de mayor afectación por la plaga en el Huila, se realizó un diagnóstico departamental de la presencia de la chinche de la chamusquina, registrándose en el 11,03% de los lotes evaluados, donde el 6,02% de los lotes tienen entre el 2% y el 20% de los árboles afectados por chamusquina y el 5,01% entre el 20% y 100%. La presencia de chamusquina en el departamento del Huila muestra que la plaga se está distribuyendo desde el Centro del departamento hacia el Sur a través de los cafetales ubicados en altitudes superiores a los 1.550 m (Figura 21). Se estiman alrededor de 8.000 ha afectadas en el departamento del Huila.

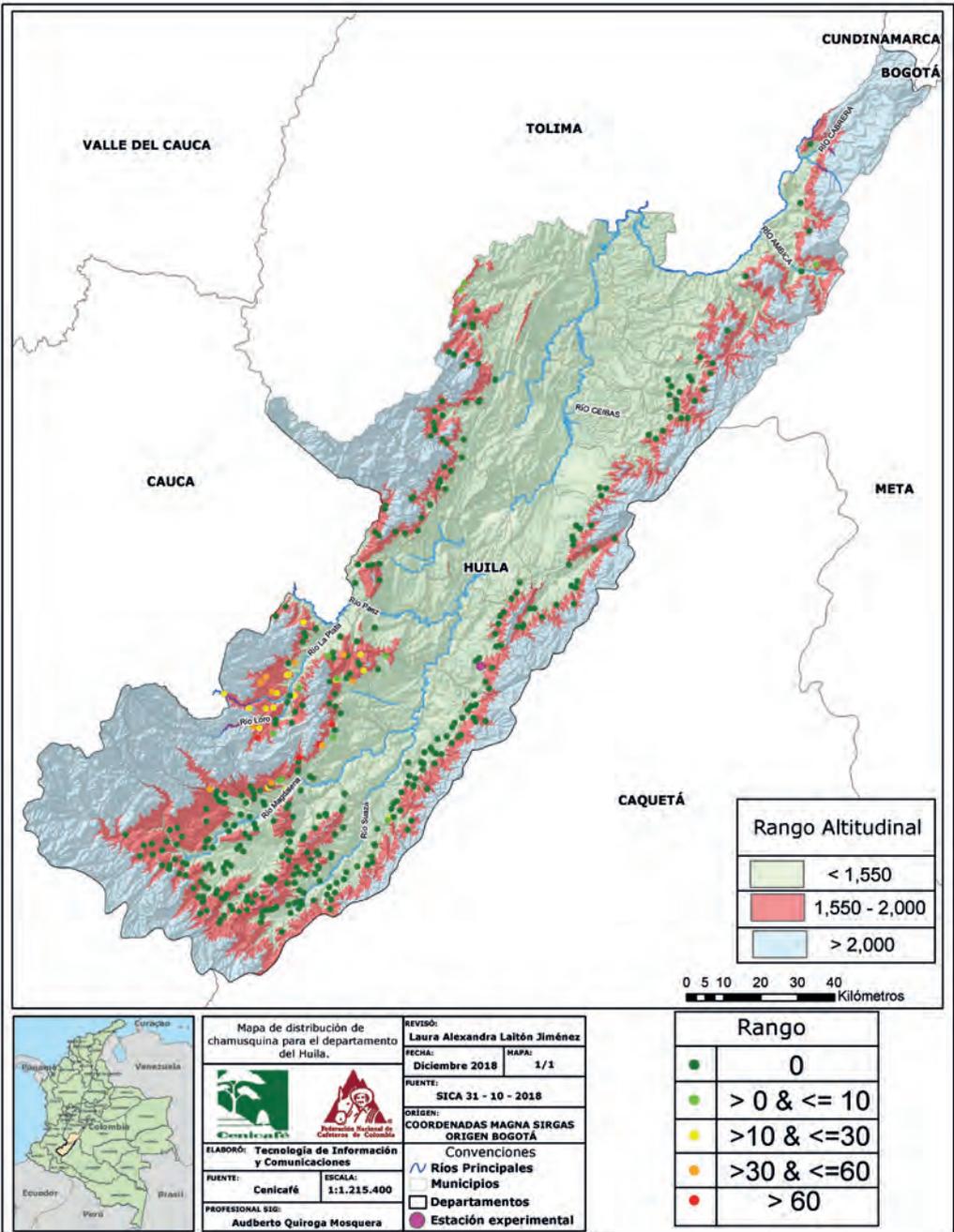


Figura 21. Mapa de registro de la presencia de chamusquina en el diagnóstico departamental. El rango significa el porcentaje de árboles afectados por la plaga.



Los municipios que presentaron infestaciones por chamusquina superiores al 10% fueron: La Plata, La Argentina, Paicol, Pital, Tarqui, Oporapa y Saladoblanco.

El clima y la chamusquina. En la Figura 22 se presentan las condiciones de clima que favorecerían los ataques de la chinche de la chamusquina a los árboles de café y en la Figura 23 aquellas que se presentan en las localidades donde no hay chamusquina.

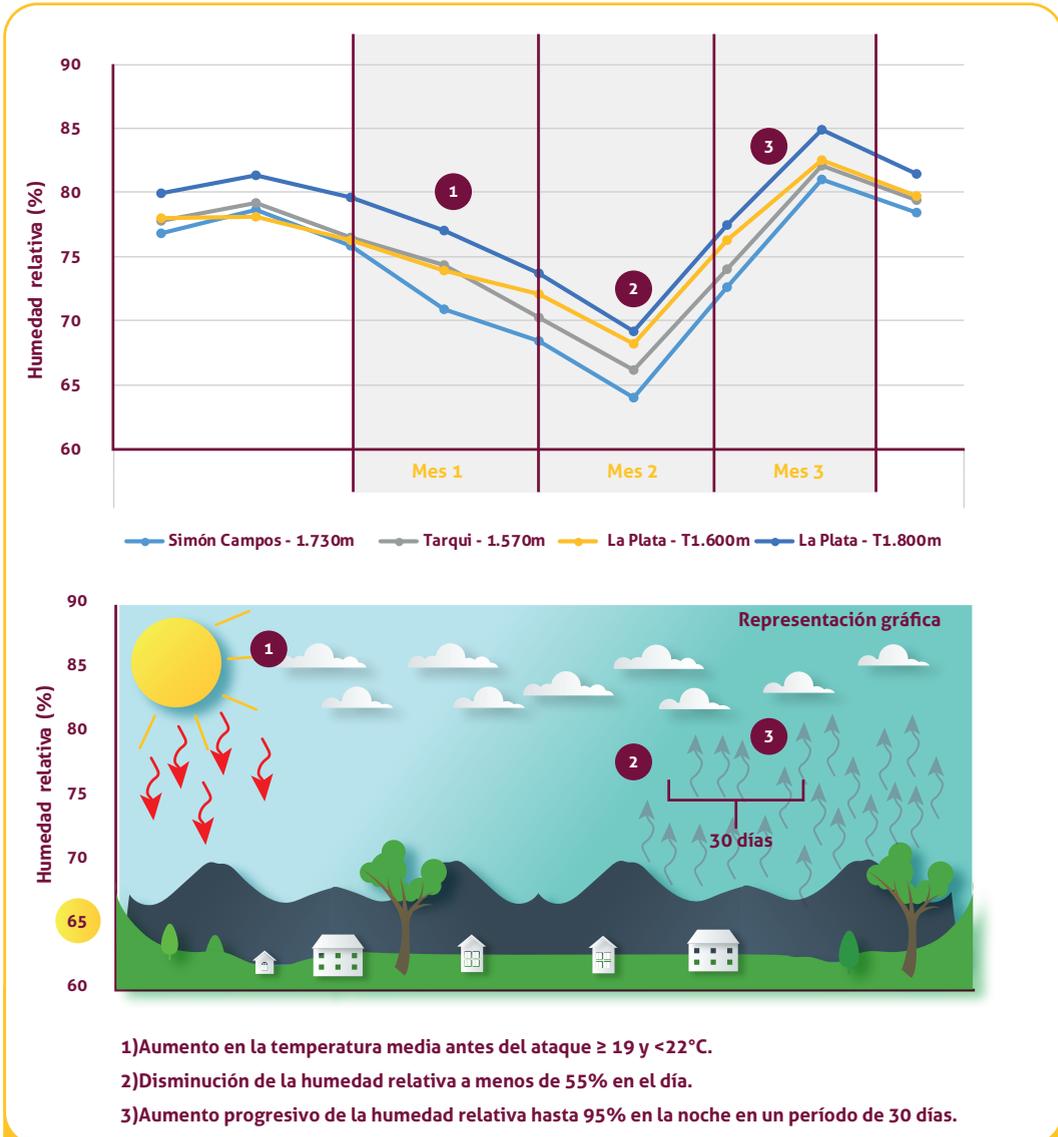


Figura 22. Diagrama explicativo del comportamiento del clima en las regiones donde hay chamusquina del café.

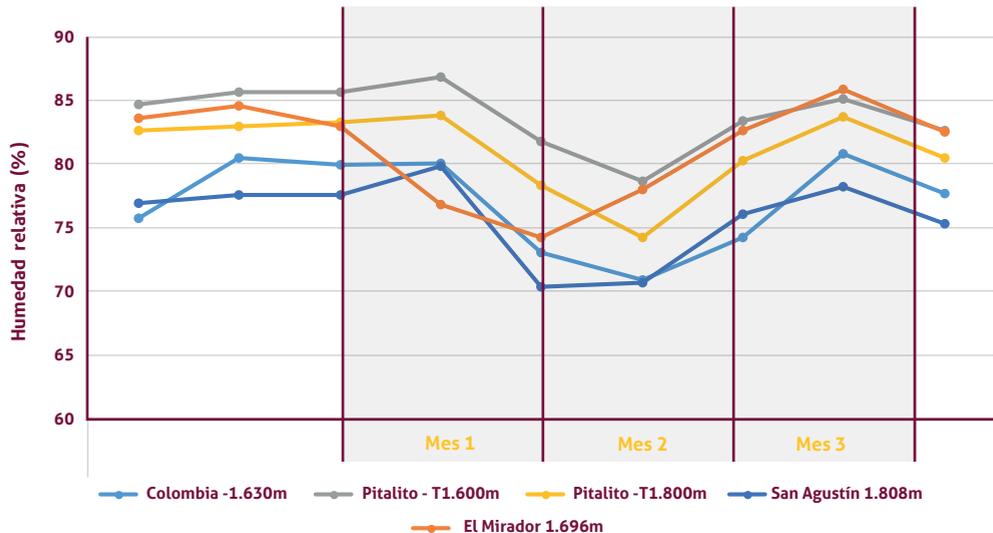


Figura 23. Diagrama explicativo del comportamiento del clima en las regiones donde no hay chamusquina del café.

Las condiciones climáticas favorables para la plaga son:

- 1) Aumento en la temperatura media antes del ataque ≥ 19 y $< 22^{\circ}\text{C}$.
- 2) Disminución de la humedad relativa a menos de 55% en el día.
- 3) Aumento progresivo de la humedad relativa hasta 95% en la noche en un periodo de 30 días.

Recomendaciones para el Manejo Integrado de la Chinche de la chamusquina del café en los municipios afectados del departamento de Huila

Control natural. La chinche de la chamusquina del café tiene varios enemigos naturales que controlan sus poblaciones en el campo. Dentro de ellos, se encuentran insectos de la familia Reduviidae, depredadores generalistas que consumen varios tipos de insectos, incluyendo ninfas y adultos de la chamusquina del café (Figuras 24 y 25). Estos depredadores necesitan consumir una gran cantidad de presas durante toda su vida para garantizar su desarrollo y supervivencia, es por esto que su presencia dentro de los cafetales afectados por la chamusquina contribuye a mantener los niveles de la plaga controlados.



Zelus spp.



Zelus spp.



Zelus spp.



Ricolla sp.



Arilus sp.



Castolus sp.

Figura 24. Depredadores de la chinche de la chamusquina del café encontrados en los cafetales de departamento del Huila.



Zelus vespiformis



Arilus gallus (adulto)



Arilus gallus (ninfa)

Figura 25. Depredadores consumiendo ninfas y adultos de la chinche de la chamusquina del café.

Para proteger los depredadores (enemigos naturales) dentro de los cafetales, aprenda a diferenciarlos de la chinche de la chamusquina.

Reconozca a los enemigos de la chinche de la chamusquina (Figura 26):

- 1.El pico:** el de la chamusquina es largo, recto y llega hasta el segundo par de patas. El del depredador es corto, en forma de gancho y llega hasta el pecho del insecto.
- 2.La cabeza:** la de la chamusquina es ancha y ovalada, similar a un frijol, mientras que la del depredador es alargada y en forma de tubo.
- 3.Las patas:** la chamusquina tiene las patas cortas y el depredador tiene las patas mucho más largas, como si fueran arañas.
- 4.Las posturas o huevos:** se refiere al grupo de huevos que ponen los depredadores. Mientras que los depredadores pueden poner entre 120 y 550 huevos en toda su vida (Figura 27 y 28), la chinche de la chamusquina pondría alrededor de un huevo por árbol. Así, las ninfas del depredador se observan en grupos, mientras que la chamusquina está sola.

Tenga en cuenta que: Si aplica un insecticida de manera generalizada va a matar mayor cantidad de enemigos naturales que de la chinche de la chamusquina.

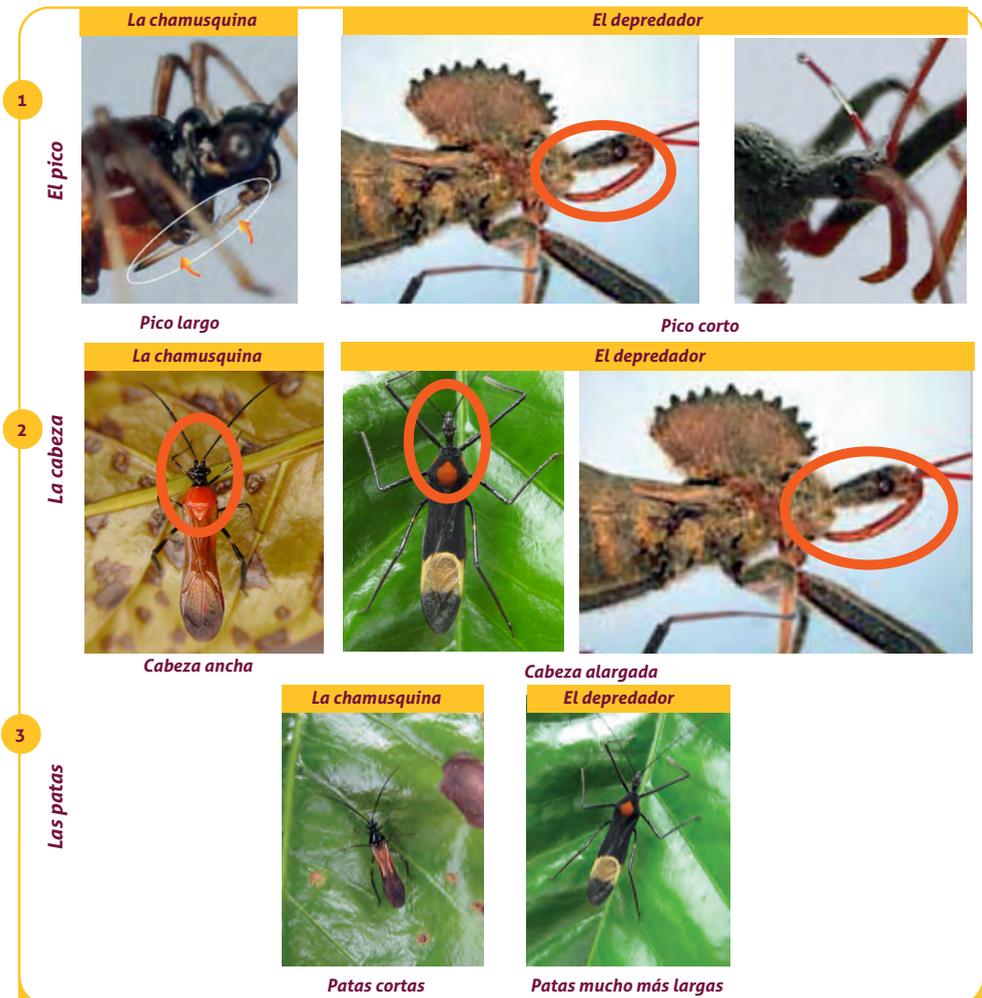


Figura 26. Diferencias entre el adulto de la chinche de la chamusquina y el adulto de los depredadores que controlan a la plaga.

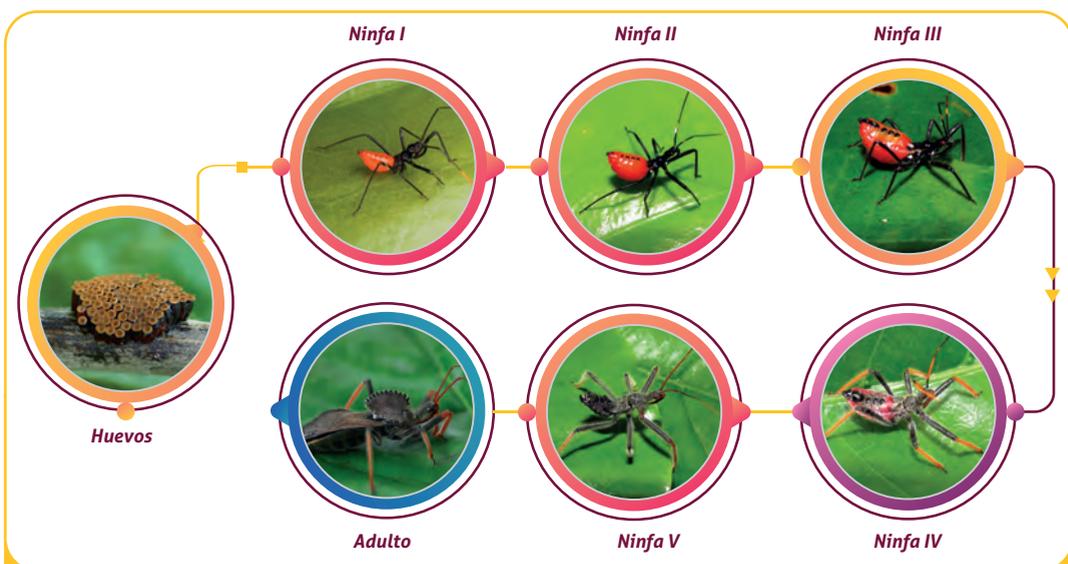


Figura 27. Huevos, ninfas y adulto del depredador *Arilus gallus*.

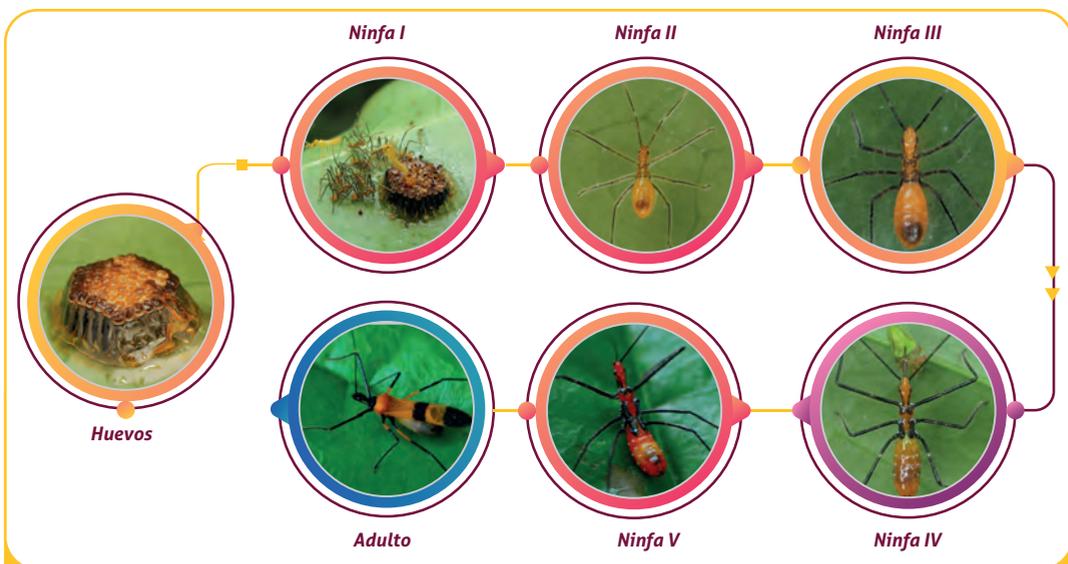


Figura 28. Huevos, ninfas y adulto del depredador *Zelus vespiformis*.

Control biológico. *Beauveria bassiana*, hongo entomopatógeno para el control de la chamusquina del café

Se reactivó una cepa de *Beauveria bassiana* aislada previamente de *Monalonion* sp. (Hemiptera: Miridae) y se evaluó su virulencia en condiciones de laboratorio, sobre plantas y en el campo (Figura 29). Los resultados mostraron que aplicando 4×10^{10} esporas/L en condiciones de laboratorio, se controló más del 80% de las chinches de la chamusquina. Estos resultados se validaron en el laboratorio y demostraron que las aplicaciones de hongo permiten mayor tiempo de control de la plaga cuando se compara con las aplicaciones generalizadas de insecticidas químicos.



Figura 29. *Ninfa adulto de chamusquina afectado por Beauveria bassiana.*

Control cultural. Este control consiste en hacer el ambiente menos favorable para el desarrollo de la plaga en el campo. Para esto, se recomienda retirar del cafetal las plantas de *Cissus* sp. comúnmente llamada “bejuco de sapo” (Figura 30). En esta arvense, que crece enredada en el árbol de café, se reproduce la chinche de la chamusquina y cuando emergen las ninfas también atacan al café.



Figura 30. *Planta de bejuco de sapo (Cissus sp.) enredada en la planta de café. Nótese que las ninfas de la chinche de la chamusquina se pasarían fácilmente a atacar las hojas y brotes de café.*

Adicionalmente, se recomienda:

- Mantener los árboles nativos de guayaba y aguacate dentro de los lotes. Así, la chamusquina se quedará en estos árboles, los cuales prefiere, evitando ataques al café.
- Realizar un Manejo Integrado de Arvenses (MIA) que permita crecer y florecer a las arvenses nobles. Los enemigos naturales de la chamusquina se alimentarán y refugiarán en estas plantas y así ayudarán con el control biológico de la de la plaga.

Tenga en cuenta que cuando se realiza manejo intensivo de arvenses se incrementan los ataques por chamusquina en los cafetales.

Control legal. No transportar material vegetal de siembra procedente de municipios afectados por la plaga.

Control químico. Para identificar el momento oportuno de control de la chinche de la chamusquina con insecticida químico, es necesario monitorear los lotes periódicamente para detectar la presencia de la plaga de manera oportuna, especialmente durante los meses de septiembre a diciembre y marzo a mayo. Las aplicaciones deben dirigirse a los árboles que tengan daños frescos causados por la chinche de la chamusquina y no generalizadas. Es decir, únicamente asperjar los árboles con daños frescos en los brotes, ya que tienen insectos atacando. Los árboles con daños viejos ya no tienen la chinche de la chamusquina, por ello asperjarlos sería un error ya que solo mataría a los enemigos naturales.



De manera experimental se han evaluado los siguientes productos con buenos resultados en el control de la chinche de la chamusquina: los organofosforados malathion y fenitroton a una concentración de 6,0 cc/L de agua y la sulfoxamicina Isoclast 240 SC a 1,0 cc/L agua.

Tenga en cuenta que las aplicaciones generalizadas de insecticidas matan los enemigos naturales de las plagas del café.

Validación del manejo de la chinche de la chamusquina del café con aplicación de insecticidas en el campo. Los resultados de la validación demuestran que aplicar insecticidas organofosforados de manera localizada, en los árboles que presentan lesiones frescas, mantiene los porcentajes de árboles afectados por debajo del 5% la mayor parte del tiempo (Figura 31). Por el contrario, las aplicaciones generalizadas de insecticidas piretroides mantuvieron los daños por encima del 5%, la mayoría del tiempo, superando entre 10% a 20% la afectación en los árboles durante varios meses (Figura 31).

Se concluye que el manejo de la chinche de la chamusquina con insecticidas debe hacerse de manera localizada, asperjando sobre los árboles que tienen insectos atacando, lo que se manifiesta por las lesiones frescas.

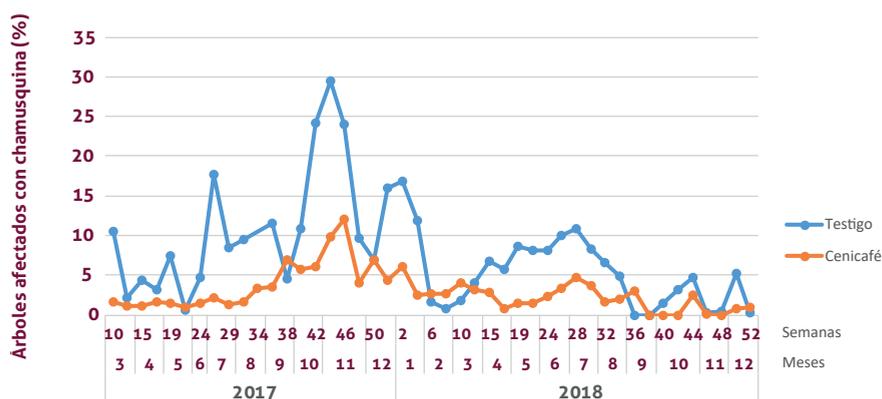


Figura 31. Niveles de daño causados por la chinche de la chamusquina del café en parcelas de validación de campo. El testigo corresponde al manejo del agricultor y la parcela Cenicafé a las aplicaciones localizadas de insecticidas.

Literatura citada

Benavides M., P.; Gil P., Z.N.; Constantino C., L.M.; Villegas G., C.; Giraldo J., M. (2013). Plagas del café broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y Monalunion. En Cenicafé - FNC, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. (Vol. 2, pp. 215-261). Chinchiná: FNC.

Constantino L. M. (2014). Brocarta 50. Impacto del repase en la cosecha principal de café. Cenicafé.

Ramírez-Cortes, H. J.; Bustillo-Pardey, A. E.; Gil-Palacio, Z. N.; Benavides-Machado, P. (2008). La Chinche de la chamusquina *Monalunion velezangeli*, una nueva plaga del café en Colombia. En Bustillo P., A.E. (Ed.), *Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana*. (pp. 374-380). Chinchiná: Cenicafé.



Gustavo Adolfo Marín Ramírez

*Investigador Científico I
Disciplina de Fitopatología
Cenicafé*

Juan Manuel López Vásquez

Ing. Agrónomo M.Sc.

Ferney López Franco

*Asistente de Investigación
Disciplina de Entomología
Cenicafé*

Carlos Ariel Ángel Calle

*Investigador Científico III
Disciplina de Fitopatología
Cenicafé*



Alertas tempranas para el manejo de enfermedades

“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”



Debido a que el departamento del Huila cuenta con extensas áreas cultivadas en variedades susceptibles a la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.), como Caturra, principalmente en la zona Sur del departamento, como parte del convenio “*Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo de café ajustado a las condiciones particulares de la caficultura del Huila*”, establecido entre la Gobernación del Huila, el Comité Departamental de Cafeteros del Huila y Cenicafé, se planteó como objetivo general “fortalecer los sistemas de alertas para problemas fitosanitarios y fenología de la planta de café”, y se incluyeron estudios epidemiológicos y de manejo integrado de la roya del cafeto como principal enfermedad de importancia económica y de la muerte descendente como enfermedad emergente de impacto local y potencial en algunas zonas, en este caso en los municipios de Pitalito y La Plata. Estos estudios se orientaron al establecimiento de alertas tempranas que contribuyan a la prevención, manejo y menor impacto de estas enfermedades en la economía de la región, que aporten a la sostenibilidad de la caficultura del Huila, y a la definición de las medidas de control fitosanitario ajustadas a las condiciones del departamento.

La caficultura del Huila al momento de iniciar el convenio de investigación en el año 2014, contaba con más del 50% del área sembrada con variedades susceptibles a la roya del cafeto, en edades de 1 a 12 años, y con aproximadamente el 80% del área distribuida en un rango de altitud entre 1.400 a 2.000 m. A pesar de existir recomendaciones generales a nivel nacional para el control de la roya del cafeto, la recomendación más importante sigue siendo la siembra de variedades resistentes. Sin embargo, es necesario realizar ajustes al manejo de esta enfermedad en función de la fisiología de la planta de café, el clima y las condiciones particulares de cada sistema de producción. El riesgo de la caficultura colombiana y la del Huila se ha incrementado en los últimos años, especialmente por la variabilidad climática y mayor frecuencia de eventos “La Niña” y “El Niño”, con impactos directos en la producción por efecto del incremento en la población de hongos causantes de enfermedades como son la roya, el mal rosado (*Erythricium salmonicolor*) y la muerte descendente (*Phoma* spp.), entre otros. Estas enfermedades tienen impacto general o local sobre los sistemas de producción de café, además de la rentabilidad, la sostenibilidad y el bienestar de las familias caficultoras.

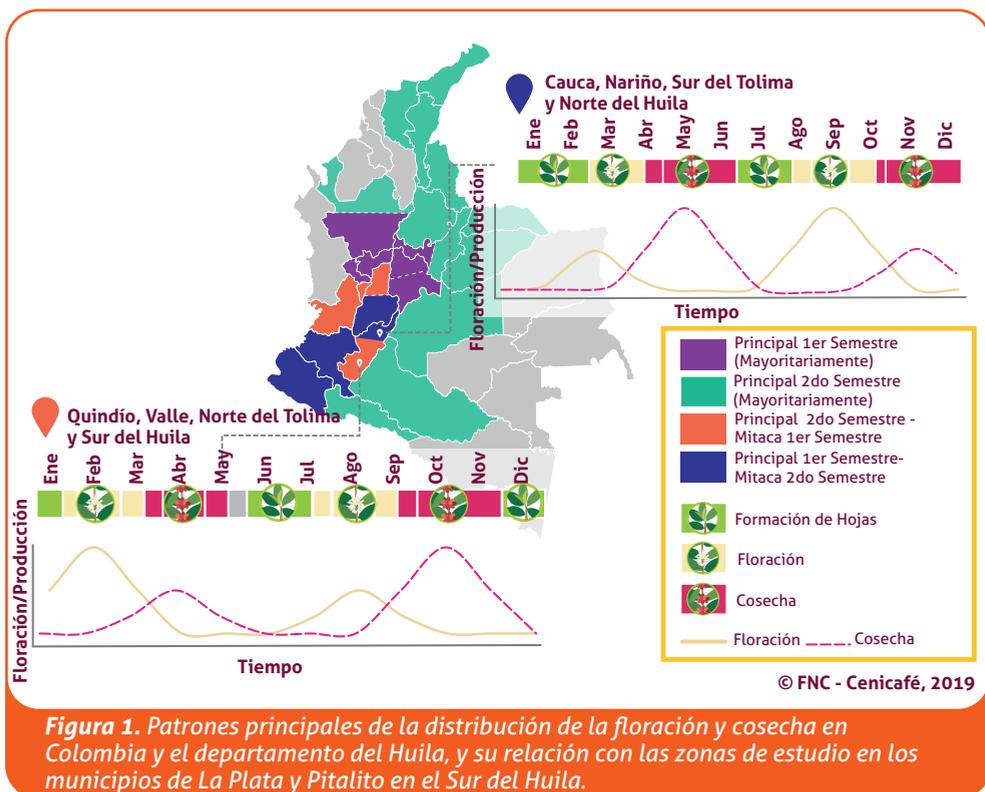
Para el año 2018, el departamento del Huila contaba con cerca de 150.000 hectáreas sembradas en café, de las cuales un 70% estaban establecidas en variedades resistentes a la roya del cafeto y el 30% restante correspondía a variedades susceptibles, con un promedio de edad de los cultivos cercano a los 5,4 años. Estos hechos indican el avance del Huila hacia una caficultura más tecnificada y altamente productiva, siendo este departamento el mayor productor de café en Colombia.

Floración del café en dos regiones del Huila

Comportamiento altitudinal vs. producción

La caficultura en Colombia está influenciada por el comportamiento de las variables climáticas en las diferentes zonas agroecológicas de cada región, los cambios asociados a la disponibilidad hídrica en el suelo, la temperatura del aire y el brillo solar, que afectan directamente la fenología del cultivo.

Este comportamiento permite identificar dos patrones generales de floración y de cosecha para Colombia en el primero y segundo semestres del año, y que a su vez generan cerca de cinco patrones regionales, dependiendo de la localización en las zonas Norte, Centro-Norte, Centro, Centro-Sur y Sur del país (Arcila y Jaramillo, 2003, Arcila, 2007, Flórez *et al.*, 2013). En el caso del Huila, son dos los patrones principales de distribución de la floración y cosecha en ambos semestres del año; uno con cosecha principal concentrada en el primer semestre para el Norte del Huila, y otro con cosechas principal y de mitaca o traviesa, repartidas en ambos semestres del año para el Centro y Sur del Huila. Dependiendo del año y de las condiciones climáticas y de la ocurrencia de los eventos “El Niño” o “La Niña” los patrones de distribución de la floración y cosecha pueden cambiar en su magnitud y distribución, pero el patrón general sigue siendo similar al histórico (Figura 1).

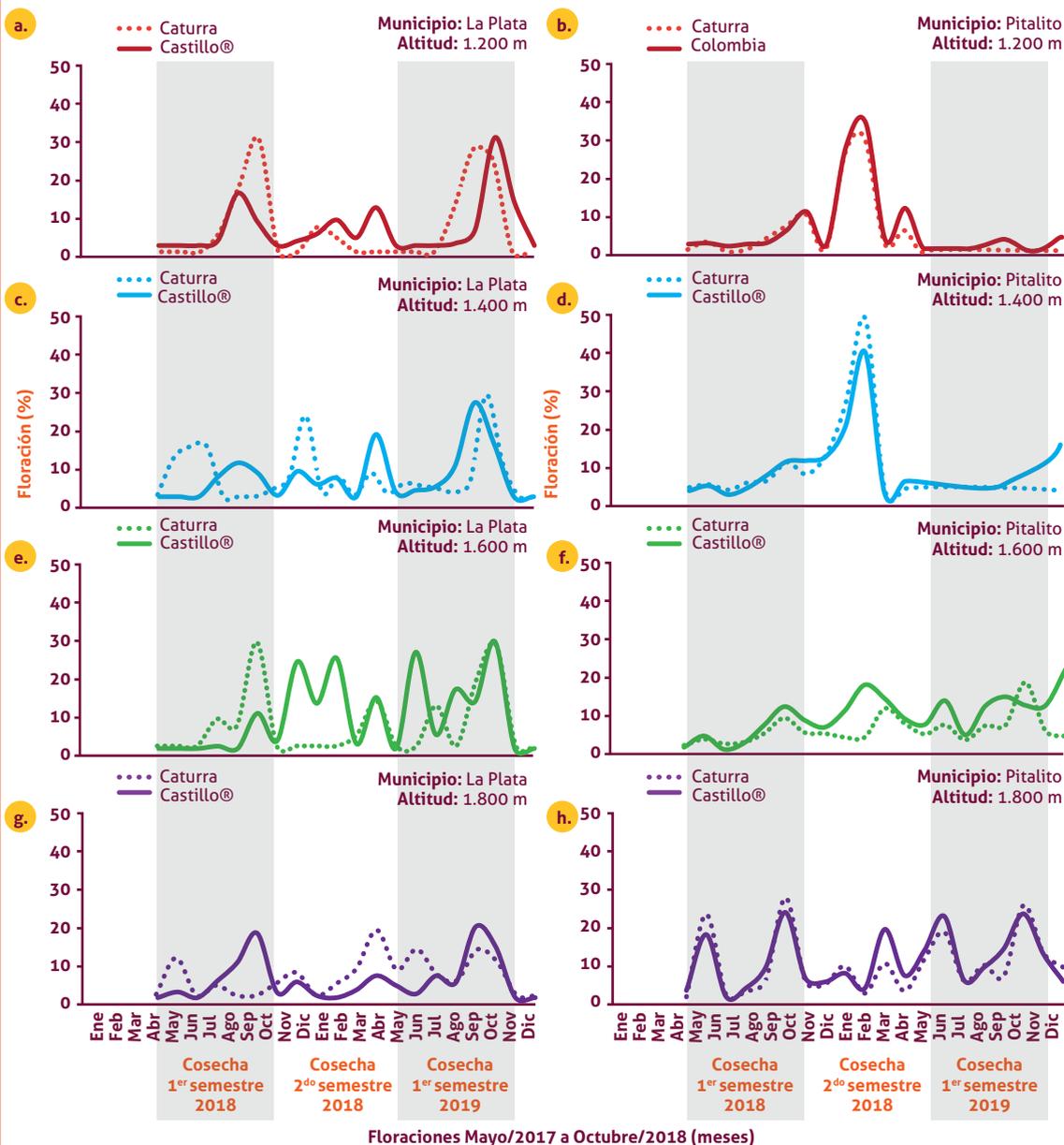


Para analizar el comportamiento reciente de la floración, durante el período de mayo de 2017 a octubre de 2018, se realizó un monitoreo en los municipios de La Plata y Pitalito en dos transectos, uno por cada municipio y en cuatro altitudes desde 1.200 a 1.800 m en cada transecto, en un lote sembrado en una variedad de café susceptible a la roya (Caturra) y otro en una variedad resistente (Colombia o Castillo®), en cada altitud, evaluando semanalmente la cantidad de flores en 60 árboles por lote, en dos ramas por árbol (Figura 2). Con la información obtenida se validaron los patrones que se asocian a las cosechas para los dos transectos. En el municipio de La Plata, la cosecha principal ocurrió mayoritariamente en el primer semestre y la cosecha de la mitaca o traviesa en el segundo semestre. Para el municipio de Pitalito, la cosecha principal se presentó en el segundo semestre y la mitaca en el primer semestre.

En cultivos ubicados en altitudes de 1.600 m y 1.800 m se encontraron variaciones o cambios del patrón de floración y cosecha, caracterizados por floraciones dispersas para los dos semestres del año, debido a que no ocurrieron períodos secos bien definidos ni prolongados, por lo que el café florece casi todo el año (Figura 2 e a h), comparados con los lotes ubicados en altitudes entre 1.200 y 1.400 m. A mayor altitud se genera una desuniformidad o lenta maduración del café y, por lo tanto, una recolección dispersa (Vélez *et al.*, 2000; Ramírez *et al.*, 2011; Rendón y Montoya, 2015)

En Colombia, el conocimiento de la fenología del cultivo ha permitido determinar las épocas oportunas para la realización de diferentes labores como la fertilización, el manejo de arvenses y el manejo integrado de plagas y enfermedades (Ramírez, 2014). Debido a esto, el manejo de la principal enfermedad que es la roya del cafeto, se ha venido ajustando a la fenología del cultivo y sus floraciones principales, dependiendo de la zona (Rivillas *et al.*, 2011, 2017).





© FNC - Cenicafé, 2019

Figura 2. Dinámica del porcentaje de la floración registrado en cultivos de café susceptibles a la roya (Caturra) y variedades resistentes (Colombia o Castillo®) en los municipios de La Plata y Pitalito, en el período desde mayo de 2017 a octubre de 2018 (floraciones correspondientes a la cosecha 2018-2019). a-b. A 1.200 m de altitud. c-d A 1.400 m de altitud. e-f. A 1.600 m de altitud. g-h. A 1.800 m de altitud. El período para la cuantificación de floraciones, para cada año de cosecha, se realizó entre el 1º de noviembre y 31 de octubre.

La roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. y Br.)

La roya del cafeto, causada por el hongo *Hemileia vastatrix*, es la enfermedad de mayor importancia económica y la de mayor impacto para el cultivo del café en el mundo. Es una enfermedad que afecta directamente las hojas de la planta ocasionando daños que reducen el área fotosintética, con alta defoliación y desarrollo de frutos de menor peso. Además, debilita y causa la muerte de ramas productivas y hasta de la planta completa cuando ocurre "paloteo", disminuyendo la productividad y sostenibilidad de los cultivos severamente afectados para los años siguientes (Figura 3).

Las pérdidas en la calidad y cantidad pueden oscilar entre el 23% y el 50% de la producción en variedades susceptibles como Típica, Borbón, Caturra, Geisha, Maragogipe y algunos Catimores introducidos, entre otros de origen desconocido, de las especies *Coffea arabica* y *C. canephora*, cuando no cuentan con un manejo adecuado y oportuno (Rivillas *et al.*, 2011, 2017).

Después de dos a tres semanas desde que el patógeno ha iniciado su infección, los síntomas aparecen como pequeñas manchas circulares de 2 a 4 mm de diámetro, de color amarillo clorótico en el envés de las hojas, lesiones que se unen y ocupan áreas irregulares de más de 5,0 cm de diámetro. Posteriormente, aparecen los signos del patógeno asemejándose a un polvillo anaranjado o color ladrillo, que corresponde a las urediniosporas agrupadas en pústulas o soros en el envés de la hoja (Figura 3). Estas esporas se diseminan por la lluvia, el viento o el agua, e infectan sitios adyacentes a la infección inicial, aumentando el área afectada, evento que ocurre repetitivamente (Rivillas *et al.*, 2011); cuando las lesiones alcanzan más del 30% al 40% de la superficie de la hoja, puede ocurrir su caída prematura, dependiendo de la edad y el estado nutricional de la misma.

Por estas razones, la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Cenicafé desde antes de la llegada de la roya a Colombia, en 1983, iniciaron el desarrollo de variedades mejoradas con resistencia durable a esta enfermedad, basada en la diversidad genética del cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor, como son las variedades Colombia, Castillo®, Tabi y Cenicafé 1 (Moreno y Castillo, 1984; Moreno *et al.*, 2002; Alvarado *et al.*, 2005; Alvarado, 2011; Flórez *et al.*, 2016, 2018). La estrategia de variedades compuestas sigue demostrando que es productiva y sostenible, logrando los mejores resultados económicos, sociales y ambientales para la caficultura colombiana. Se estima un impacto de la siembra de variedades resistentes a la roya en el 80% del área cultivada en Colombia cercano a \$200 millones de dólares al año, representados en ahorro al no tener que realizar control químico de la roya con fungicidas, además de los beneficios ambientales y para la salud de los caficultores (FNC – Cenicafé, 2018).

Las epidemias de la roya están relacionadas con la fisiología de la producción de frutos de café. Estas se inician a partir de las floraciones, que usualmente ocurren al principio de las temporadas de lluvias. La epidemia empieza de forma lenta cuando infecta hojas maduras y recién formadas, luego pasa por una fase de crecimiento rápido o acelerado durante la etapa de formación y llenado de los frutos, y termina en una fase máxima cuando alcanza la mayor incidencia y severidad en meses previos o durante a la cosecha de café (Rivillas *et al.*, 2011).

En el caso del departamento del Huila, los períodos históricos de floración ocurren entre enero-marzo y entre agosto-octubre, con variaciones dependiendo de aspectos climáticos que determinan las épocas de altas y concentradas floraciones. Los ataques de

roya inmediatamente posteriores a los períodos de floración principal son los de mayor impacto, favoreciendo las defoliaciones tempranas y la pérdida del área fotosintética que alimenta los frutos jóvenes. Existe entonces una relación directa entre los niveles de infección por roya registrados durante el período de llenado de frutos y la reducción en producción de café, el desarrollo vegetativo de la planta se retrasa y la producción del año siguiente se afecta negativamente (Villarraga y Baeza, 1987; Baeza y Villarraga, 1988; Rivillas *et al.*, 2011)



Monitoreo de la incidencia y epidemias de roya en los municipios de La Plata y Pitalito (2016 - 2018)

Durante los años 2016 al 2018 se estudió la dinámica de incidencia de la roya del cafeto en los municipios de La Plata y Pitalito, en cuatro cultivos en diferentes altitudes, entre 1.200 y 1.800 m, en cada transecto por municipio, tanto para la variedad susceptible Caturra como para la variedad resistente Castillo®.

Para cada cultivo de café, monitoreado mensualmente, se seleccionaron al azar y sistemáticamente 60 árboles y de cada uno de ellos se evaluó una rama del tercio productivo, con alta producción y con más de diez hojas presentes, determinando el porcentaje de incidencia de roya, medido como la cantidad de hojas con roya esporulada dividido en el total de hojas presentes multiplicado por 100.

El monitoreo de la enfermedad a diferentes altitudes indicó altos porcentajes de incidencia de roya, similares entre lotes de la variedad susceptible (Caturra), que contrastan con los porcentajes de incidencia más bajos para la variedad resistente (Castillo®), y se observan diferencias en la dinámica entre altitudes y localidades. Las mayores incidencias de la enfermedad se presentaron sobre la variedad Caturra en todos los rangos altitudinales, superando los niveles de incidencia por encima del 50% y llegando hasta el 70%, alcanzando los máximos de la epidemia entre los meses de julio a septiembre, en ambos municipios. Para el caso de la variedad resistente, se observaron incidencias que estuvieron por debajo del 10% y 20% dependiendo de la altitud, del clima, donde a menores altitudes las epidemias de roya, por lo general, fueron más severas (Figura 4).

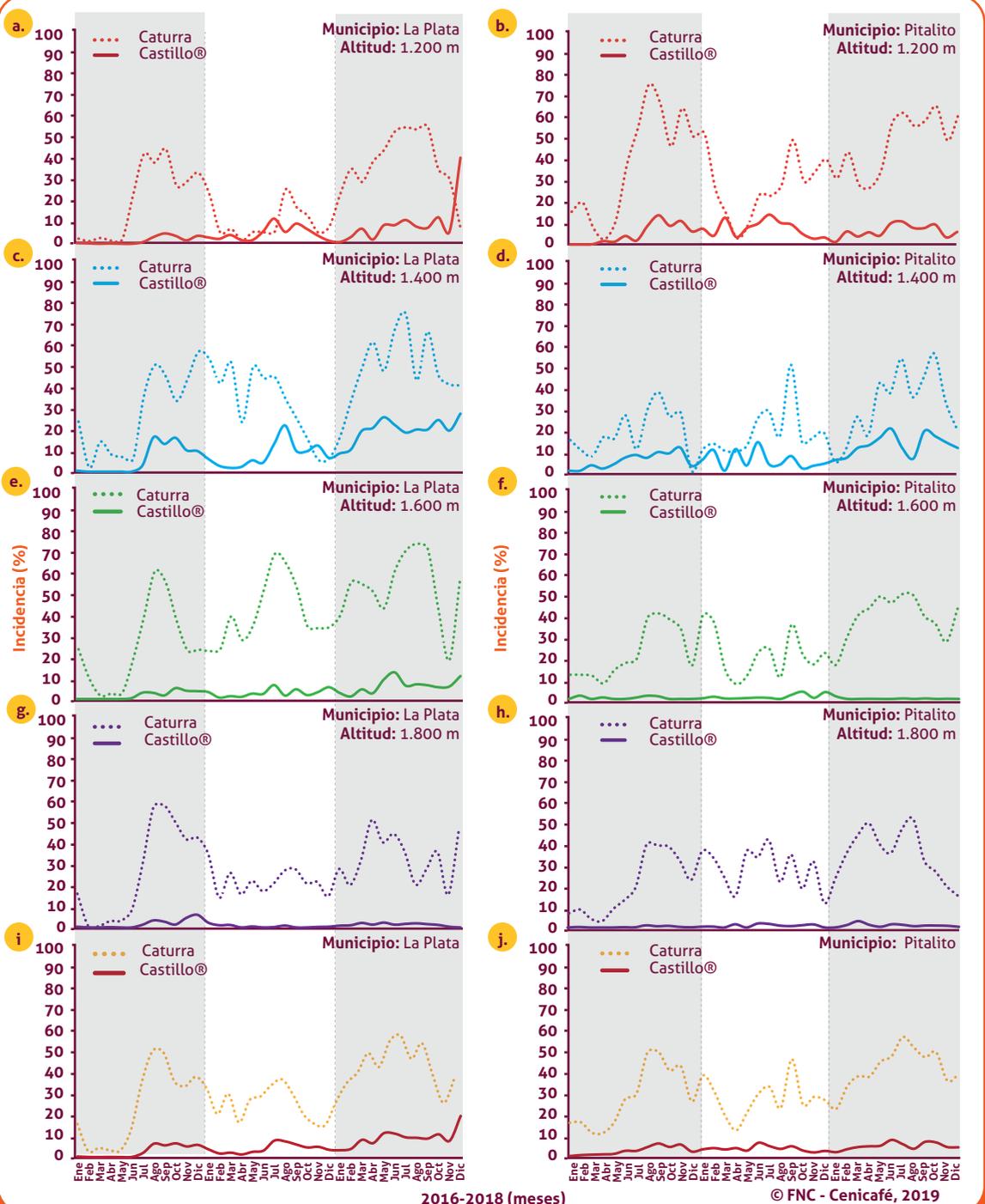


Figura 4. Dinámica de la incidencia de la roya del café en variedad susceptible (Caturra) y variedad resistente (Castillo®), en los municipios de La Plata y Pitalito, en el periodo entre enero de 2016 a diciembre de 2018. a-b. Caturra vs. Castillo® a 1.200 m de altitud. c-d. Caturra vs. Castillo® a 1.400 m de altitud. e-f. Caturra vs. Castillo® a 1.600 m de altitud. g-h. Caturra vs. Castillo® a 1.800 m de altitud. i-j. Promedio del comportamiento de la incidencia de roya en variedad susceptible (Caturra) frente a la variedad resistente (Castillo®), en cuatro altitudes, en los municipios de Pitalito y La Plata.

Como era de esperarse, se observa una tendencia del aumento de la incidencia de la enfermedad en la variedad resistente en los mismos meses de mayor vulnerabilidad de la variedad susceptible, que corresponde al final de la epidemia de roya y que coincide con la época previa a la cosecha en cada región, lo cual se asocia a la fisiología de la planta (Figura 4). Es evidente la gran diferencia entre la incidencia de roya al comparar una variedad susceptible como Caturra versus la baja incidencia en la resistente Castillo® en todas las altitudes y en los dos municipios, donde la enfermedad no causa pérdidas en la producción en la variedad resistente. De allí que no se recomienda el manejo químico de la roya en una variedad con resistencia durable y diversa como Castillo® y Colombia.

Sembrar variedades con resistencia durable a la roya es una decisión en la cual el caficultor no se puede equivocar al establecer su cultivo. Para ello, actualmente cuenta con las variedades Castillo®, Cenicafé 1 y Tabi, genéticamente diversas, con resistencia de tipo completo e incompleto, que es un factor fundamental en la reducción de la enfermedad y su impacto potencial desde el comienzo del ciclo productivo. Las variedades desarrolladas por la FNC y Cenicafé son resistentes, pero no inmunes, lo cual explica la incidencia baja a moderada, con una baja severidad de la enfermedad; es decir, menor área afectada en las hojas que presentan pústulas de roya. Esta resistencia consecuentemente contribuye a la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas de producción de café y al bienestar de los caficultores, lo cual adicionalmente está respaldado por la estrategia de la FNC “Más Agronomía, Más Productividad” (FNC – Cenicafé, 2018).

En ambos transectos, en Pitalito y La Plata, se presentaron los factores climáticos favorables para la enfermedad (Figura 5), la disponibilidad de inóculo de roya fue suficiente y se mantuvieron las prácticas de manejo agronómico acostumbradas por los caficultores, factores que contribuyeron a la generación y el desarrollo de epidemias de la enfermedad. Al analizar el comportamiento de la precipitación, la humedad relativa y la temperatura, entre enero de 2017 a diciembre de 2018, se observan diferencias entre transectos (Tabla 1).

Las condiciones favorables para las epidemias de roya se dan con alternancia de temperaturas altas en el día y frescas o bajas en las noches, con un rango entre 15 y 28°C, siendo el óptimo entre 22 y 23°C. La humedad relativa adecuada está alrededor del 70% o más, sin sobrepasar el 95% de forma permanente, y precipitaciones frecuentes en las tardes o noches, lo cual favorece la formación de películas de agua libre, entre 1 y 2 días, condiciones que garantizan la germinación, penetración e infección de los tejidos de la hoja del cafeto.

En La Plata no se observaron mayores diferencias entre altitudes para la humedad relativa diaria promedio, oscilando entre 77,9% y 80,4%, sin depender de la altitud. La temperatura promedio diaria osciló entre 17,5°C a 1.800 m y 20,2°C a 1.200 m, con el mínimo valor de temperatura de 13,5°C a 1.800 m, valor inferior al adecuado para roya del cafeto que es de 15°C. En cuanto a precipitación promedio, esta osciló entre 3,6 y 3,8 mm diarios, lo cual abastece parcialmente los requerimientos de lluvia por parte del cultivo, y no se observó efecto de la altitud, al tener la lluvia un comportamiento regional para este transecto (Tabla 1a).

En Pitalito tampoco se observaron diferencias entre altitudes para la humedad relativa diaria promedio, oscilando entre 79,8% y 84,5%, sin depender de la altitud. La temperatura promedio diaria osciló entre 17,4°C a 1.800 m y 20°C a 1.200 m, con el mínimo valor de temperatura de 13,9°C a 1.800 m, valor inferior al adecuado para roya

del cafeto. En cuanto a precipitación promedio, esta osciló entre 3,9 y 5,7 mm diarios, lo cual abastece en forma general los requerimientos de lluvia por parte del cultivo, pero con mayor precipitación en la zona de mayor altitud (Tabla 1b).

Los meses de menor precipitación van desde julio a septiembre para el transecto de La Plata, y de diciembre a febrero en el de Pitalito (Figura 5), los cuales generan el déficit hídrico en el suelo, suficiente para inducir las floraciones de las cosechas principales del primero y segundo semestre del año.



El conocimiento de la dinámica climática en las distintas regiones del Huila, puede ser usada como una herramienta importante en el manejo integrado de enfermedades en el cultivo de café, permitiendo diferenciar y caracterizar las condiciones de microclima de cada zona o rango altitudinal, para ajustar el manejo y el control adecuado bajo condiciones locales del lote, finca o región.

Tabla 1. Valores promedio, máximo y mínimo diarios para la temperatura (°C), humedad relativa (%) y precipitación (mm), en los transectos altitudinales entre 1.200 y 1.800 m, en a) La Plata y b) Pitalito, desde enero de 2017 a diciembre de 2018.

| a. La Plata | | | | | |
|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Variable | Medida | 1.200 m | 1.400 m | 1.600 m | 1.800 m |
| Humedad Relativa (%) | Máximo | 95,2 | 98,3 | 96,3 | 98,0 |
| | Promedio | 19,9 | 80,4 | 11,9 | 19,1 |
| | Mínimo | 56,5 | 53,4 | 52,2 | 48,3 |
| Precipitación (%) | Máximo | 84,5 | 59,0 | 52,8 | 57,3 |
| | Promedio | 3,8 | 3,6 | 3,8 | 3,6 |
| | Mínimo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Temperatura (%) | Máximo | 23,3 | 21,9 | 21,2 | 20,3 |
| | Promedio | 20,2 | 19,1 | 18,7 | 17,5 |
| | Mínimo | 17,1 | 15,8 | 15,3 | 13,5 |

| b. Pitalito | | | | | |
|----------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| Variable | Medida | 1.200 m | 1.400 m | 1.600 m | 1.800 m |
| Humedad Relativa (%) | Máximo | 99,3 | 96,3 | 98,9 | 99,9 |
| | Promedio | 84,5 | 19,8 | 84,5 | 81,8 |
| | Mínimo | 66,5 | 60,2 | 62,4 | 50,5 |
| Precipitación (%) | Máximo | 42,5 | 54,8 | 54,4 | 61,5 |
| | Promedio | 4,0 | 3,9 | 4,0 | 5,7 |
| | Mínimo | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Temperatura (%) | Máximo | 22,8 | 21,9 | 20,7 | 20,0 |
| | Promedio | 20,0 | 19,3 | 18,4 | 17,4 |
| | Mínimo | 16,8 | 15,9 | 15,1 | 13,9 |

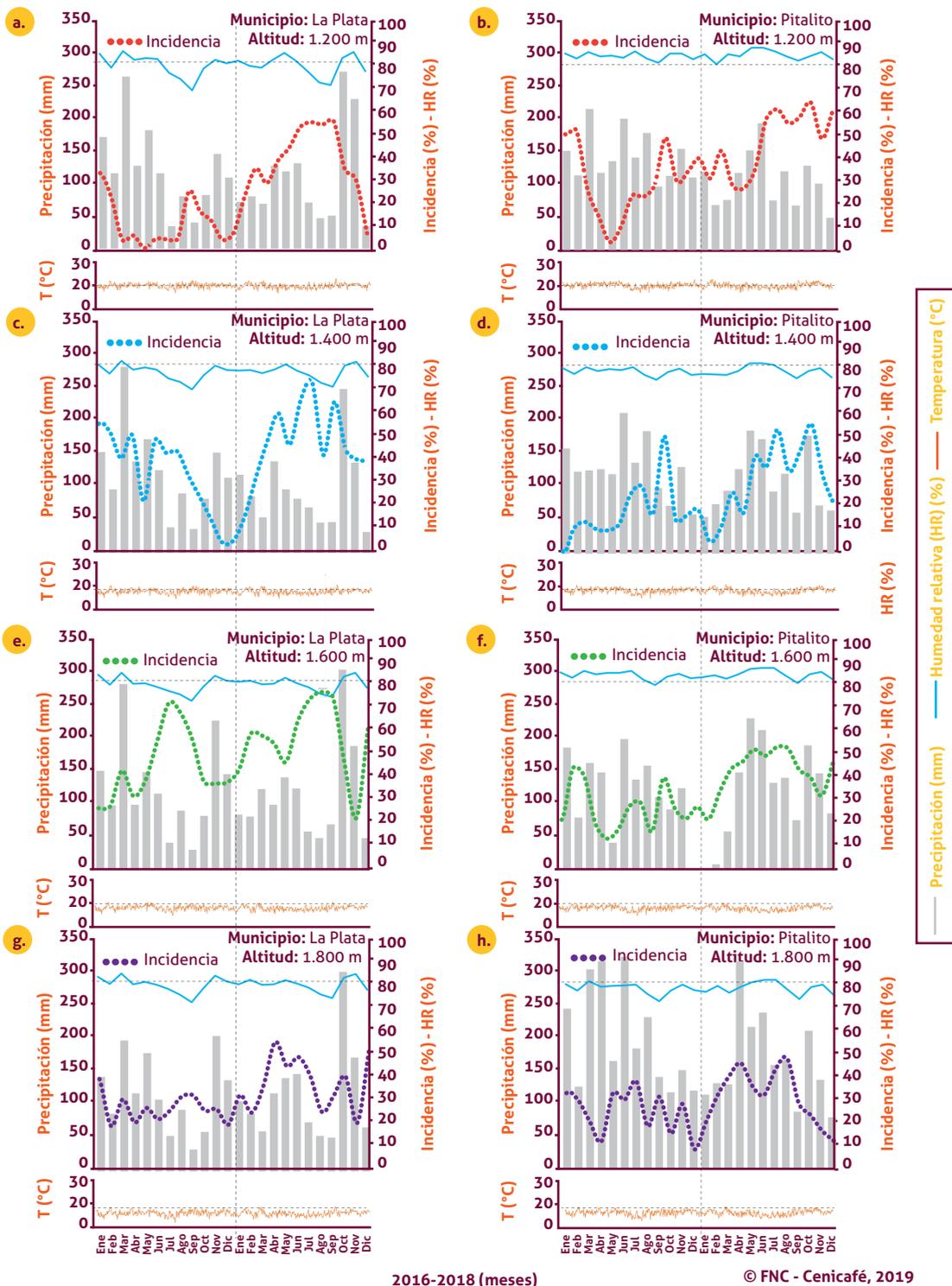


Figura 5. Dinámica de la incidencia de la roya del café en la variedad susceptible Caturra en los municipios de La Plata y Pitalito, en el período entre enero de 2017 a diciembre de 2018, con relación a la precipitación mensual (mm), la humedad relativa promedio mensual (%) y la temperatura promedio diaria (°C), en diferentes rangos de altitud. a. La Plata a 1.200 m; b. Pitalito a 1.200 m; c. La Plata a 1.400 m; d. Pitalito a 1.400 m; e. La Plata a 1.600 m; f. Pitalito a 1.600 m; g. La Plata a 1.800 m; h. Pitalito a 1.800 m.

Relación entre incidencia, severidad y defoliación causada por la roya del cafeto en La Plata y Pitalito (2018)

Teniendo en cuenta la dinámica de progreso de la incidencia de la roya en los dos transectos, en la variedad susceptible Caturra, en la cual se alcanzaron porcentajes de incidencia superiores al 40% e inclusive llegando a más del 70%, tanto en La Plata como en Pitalito, durante el período de diciembre de 2017 a diciembre de 2018 se investigó la relación entre la severidad y su efecto sobre la defoliación o caída de las hojas en los diferentes perfiles altitudinales. Este estudio se realizó solo en los lotes de variedad Caturra, donde se seleccionaron 60 árboles por cada lote, diferentes a los que se usaron aleatoriamente para el monitoreo mensual de incidencia. Se marcó una rama del tercio productivo de cada árbol, que contara siempre con un mínimo diez hojas en cada evaluación mensual, para determinar la incidencia, medida como el porcentaje de hojas afectadas por roya, y la severidad, medida como el porcentaje de área afectada por roya que cubre cada hoja de la rama, con base en la presencia o ausencia de las hojas en cada evaluación progresivamente. En el momento en que el lote respectivo registró pérdidas del 50% de las hojas evaluadas, se realizó un nuevo marcaje de ramas para retomar la evaluación de severidad y número de hojas presentes o ausentes. En Pitalito se realizaron dos cambios de ramas y en La Plata tres cambios.

Se observó una relación estrecha entre la incidencia y la severidad de roya en todos los lotes y en las diferentes altitudes de los transectos de La Plata y Pitalito; es decir, a mayor incidencia mayor severidad, lo cual también llevó a una alta defoliación. La dinámica del progreso de la severidad acompañó de forma similar el progreso de la incidencia a través del tiempo. Los picos más altos de incidencia y severidad para La Plata ocurrieron entre los meses de junio y agosto de 2018, y para Pitalito entre julio y septiembre del mismo año (Figura 6). Estos picos se alcanzan cuando se llega al tope máximo de la epidemia de la enfermedad, que coincide con los meses previos a la cosecha de café del segundo semestre del año, que se dio entre agosto y octubre, siendo más disperso en La Plata.



Usualmente los mayores valores de defoliación se alcanzan en los meses de máxima incidencia y severidad, pero dependiendo del manejo, la nutrición, la dispersión de las floraciones y la altitud, progresivamente se incrementa la defoliación cuando se avanza en el período de cosecha. Seguidamente, tanto la incidencia como la severidad descienden por efecto de la defoliación y la formación de follaje nuevo cuando llegan las lluvias. Esta defoliación es producida además por el desgaste fisiológico que tiene la planta al producir café, la edad de las hojas que alimentaron dicha producción y su senescencia, el clima, las deficiencias nutricionales y las labores propias del manejo y la cosecha.

Estos resultados reiteran investigaciones previas de Cenicafé (Villarraga y Baeza, 1987; Baeza y Villarraga, 1988), donde se indica la relación directa entre la incidencia y la severidad de la roya en una variedad susceptible como Caturra. Los niveles de incidencia deben estar por debajo del 13% en los meses siguientes a la floración principal, e inferiores al 5% durante el llenado de los frutos, para que no ocurran pérdidas en la producción. De igual forma, con el control químico se busca contar con al menos el 70% de follaje sano, libre de roya en la zona productiva, y evitar que defoliaciones por encima del 26% empiecen a generar pérdidas en la producción.

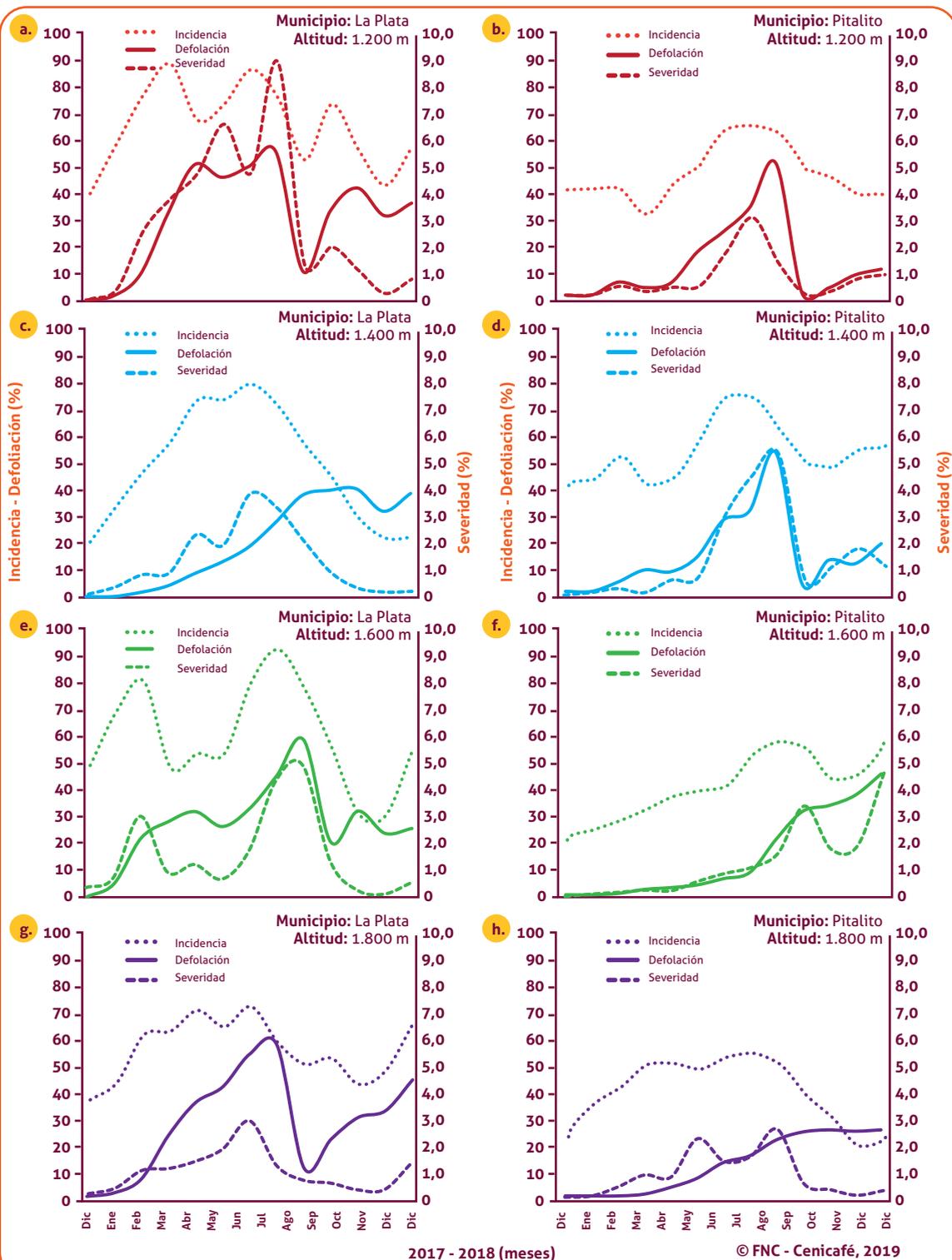


Figura 6. Dinámica de la roya del café comparando incidencia, severidad y defoliación en la variedad Caturra, en los municipios de La Plata y Pitalito, en el período entre diciembre de 2017 a diciembre de 2018. a-b. A 1.200 m de altitud; c-d. A 1.400 m de altitud; e-f A 1.600 m de altitud; g-h. A 1.800 de altitud.

Muerte descendente (*Phoma* spp.)

La enfermedad de la muerte descendente del cafeto es causada por hongos del complejo *Phoma* spp., la cual causa lesiones necróticas en hojas jóvenes y brotes, que luego se mueren, avanzando en forma descendente en los tejidos en desarrollo, afectando las zonas de crecimiento. Genera malformación en plantas de café, en todas las etapas de cultivo, desde el almácigo, siembras nuevas en el campo, renovaciones por zoca y hasta en etapa productiva en el campo. En Centroamérica ha causado pérdidas cercanas al 80% en almácigos severamente afectados y cerca al 30% en cultivos jóvenes en producción.

Esta enfermedad puede causar graves problemas a altitudes mayores a 1.600 m, por la presencia de eventos climáticos de corrientes fuertes de aire frío, acompañados de temperaturas nocturnas por debajo de 14°C, brillo solar entre 3 y 6 horas al día, y alta humedad relativa diurna, condiciones que favorecen el desarrollo de la enfermedad. Debe tenerse especial cuidado en no confundir los síntomas y daños producidos en las hojas tiernas y brotes por la muerte descendente (*Phoma* spp), con los causados por la chinche de la chamusquina (*Monalonion velezangeli*) o con los síntomas de deficiencia de boro (Gil y Leguizamón, 2000; Villegas *et al.*, 2009; Menza y Peláez, 2015).

Los ataques inmediatamente posteriores a los períodos de formación de tejido vegetativo de brotes y hojas, son los que alcanzan mayor severidad e impacto, favoreciendo defoliaciones, atrofia y muerte de ramas, "paloteo" y pérdida de tejidos para floración y producción (Figura 7). El desarrollo vegetativo de la planta se retrasa drásticamente, la planta se desgasta tratando de reponer brotes y ramas, y se afectan los ciclos de producción y renovación sucesivos. Usualmente no es una enfermedad de distribución generalizada en los lotes, fincas o regiones, más bien se produce en focos y bordes de los lotes que están expuestos a los factores climáticos favorables para el desarrollo de la enfermedad; por lo tanto, no es una enfermedad de impacto económico nacional o de amplias regiones, pero sí lo es localmente en zonas de algunos municipios en el departamento del Huila.

a.



b.



Figura 7. a. Síntomas de muerte descendente del cafeto causada por hongos *Phoma* spp.; necrosis en los tejidos jóvenes de hojas y brotes en desarrollo; b. Fuerte defoliación, muerte de hojas y brotes tiernos de las ramas productivas.

Monitoreo de la muerte descendente (*Phoma* spp.) en los municipios de La Plata y Pitalito (2016-2018)

Teniendo en cuenta los análisis previos realizados para el convenio "Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo de café ajustado a las condiciones particulares de la caficultura del Huila", conociendo la presencia de muerte descendente en algunas zonas de la región Centro Occidental del Huila, en altitudes superiores a los 1.600 m, y considerando los eventos de variabilidad climática y el cambio tecnológico de la caficultura del Huila en diferentes áreas, se estudió la epidemiología y posible manejo de esta enfermedad emergente, si los resultados del estudio evidenciaban algún impacto.

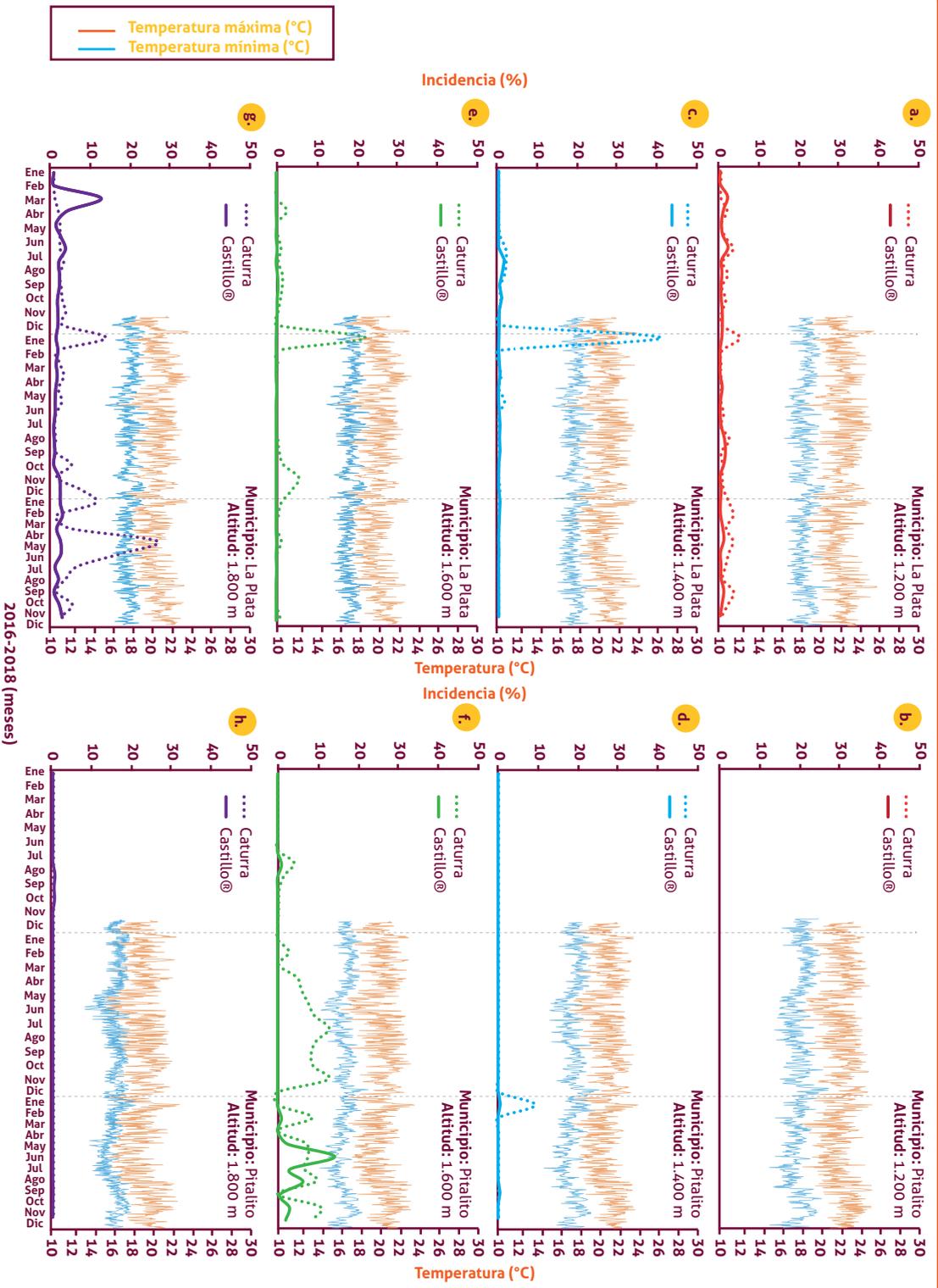
La enfermedad se monitoreó en función del porcentaje de brotes afectados en los tercios superior y medio productivo del árbol, de tal forma que mensualmente, mediante un muestreo al azar y sistemático, se evaluaron 60 plantas en todos los lotes, prioritariamente aquellos ubicados por encima de los 1.600 m de altitud, en ambos transectos, en los municipios de La Plata y Pitalito.

En las zonas de monitoreo no se observaron altos niveles de incidencia y por encima del 10% a través del tiempo, que permitieran la aparición de una epidemia continuada y severa de la enfermedad que necesitara manejo. Para ambos municipios, en la incidencia se registraron incrementos puntuales en los meses de mayores vientos, bajas temperaturas nocturnas y mayor radiación, como sucede en las épocas secas (enero a marzo y julio a septiembre), tanto en las variedades Caturra como Castillo®, pero sin algún impacto epidemiológico ni económico (Figura 8).

Específicamente, se observaron incrementos entre los meses de enero, febrero y marzo de 2017 y mayo, junio, julio y octubre de 2018. En estas épocas ocurrieron cambios fuertes de temperatura y distribución de las lluvias entre el final de la temporada seca del segundo semestre de 2017 y el inicio de la primera temporada de lluvias de 2018, ambos dentro de un evento débil de "La Niña" (Figura 8). A pesar de darse una baja a moderada incidencia de muerte descendente, la prolongación de estos eventos fue insuficiente para el desarrollo de la epidemia, por encima del 10% o más, generando la reducción de la incidencia, dentro de uno a dos meses siguientes; es decir, se redujo el porcentaje de tejidos con daños frescos o nuevos observados rápidamente.

Al analizar las condiciones que favorecen la enfermedad de forma general, con temperaturas entre 18 y 22°C, con presencia de temperaturas mínimas inferiores a 14°C y amplitud térmica de 11,5°C, se observa que algunas de estas condiciones se presentaron para ambos transectos. Para Pitalito se registró un promedio de temperatura diaria máxima de 22,8°C a 1.200 m de altitud y un mínimo de 13,9°C a 1.800 m, y en La Plata el máximo de temperatura fue 23,3°C a 1.200 m y el mínimo de 13,5°C a 1.800 m, pero no se obtuvo la amplitud térmica requerida de 11,5°C (Tabla 1, Figura 8).

Se observó una relación entre la incidencia por muerte descendente con los daños causados por roya en la variedad Caturra con respecto a la variedad Castillo® que presentó baja incidencia de esta enfermedad. Esto se debe a la alta defoliación causada por roya en Caturra, que dejan expuestos al viento y a los cambios de temperatura y radiación los tejidos jóvenes de brotes, ramas y hojas, lo cual se observó en los lotes por encima de los 1.600 m, principalmente en el transecto de La Plata, y en forma leve en Pitalito a igual altitud, sin impacto económico (Figura 8).



© FNC - Cenicafé, 2019

Figura 8. Dinámica de la incidencia de muerte descendente en los años 2016 al 2018 en variedades Caturra y Castillo@ y su relación con las temperaturas máximas y mínimas (°C), en los transectos altitudinales en La Plata y Pitalito, entre enero de 2016 a diciembre de 2018. a-b. A 1.200 m; c-d. A 1.400 m; e-f. A 1.600 m; g-h. A 1.800 m. No se dispone de datos de temperatura máxima y mínima para el año 2016.

Validación de los criterios para el manejo integrado de roya del café en el Sur del Huila

El manejo químico de la roya del café en Colombia se ha hecho históricamente siguiendo dos criterios (Rivillas *et al.*, 2011):

1. Los niveles de infección (porcentaje de incidencia), de acuerdo con el período de desarrollo de los frutos entre los 60 y 180 días de edad.
2. Los calendarios fijos determinados por las épocas históricas de floraciones y patrones de cosecha en las diferentes regiones, donde las aplicaciones se hacen en el momento fenológico adecuado para proteger el follaje responsable de la cosecha en desarrollo.

Cenicafé viene investigando el ajuste en el inicio de las aplicaciones a partir de los 60 días después de ocurrida la floración principal, considerando las alteraciones de los patrones históricos, sea por el adelanto o el retraso con respecto a los históricos, debido a eventos de variabilidad climática local o regional (Rivillas *et al.*, 2011, 2017).

Para esta validación en el Huila, la estrategia de manejo químico de roya se implementó inicialmente bajo el criterio de aplicaciones según calendarios fijos, teniendo como base los períodos históricos de floración para la cosecha principal en el segundo semestre del año, como ocurre para la zona Sur del Huila. Este comportamiento histórico indica que, de darse floraciones entre enero y marzo de cada año, el inicio de aplicaciones de fungicidas ocurre en la primera semana del mes de mayo, seguido de una aplicación en la tercera semana de junio y la final en la tercera semana de agosto, dependiendo del producto a utilizar (Rivillas *et al.*, 2011).

Se seleccionaron dos cultivos de la variedad Caturra, en altitudes de 1.200 y 1.400 m en el transecto de Pitalito, que contaron con las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad y que generaron epidemias, tanto en las parcelas con control y sin control de la enfermedad. Para el manejo de la roya en el año 2016 y 2017, la validación siguió el criterio de calendarios fijos con base en históricos de floración. Para el 2018 se siguió el criterio de ajuste a la ocurrencia de la floración principal (Rivillas *et al.*, 2017), y en todos los casos se comparó con el manejo dado por el caficultor según sus propios criterios.

Para el cultivo a 1.400 m de altitud (Figura 9), durante los años 2016 y 2017, el manejo dado por caficultor no logró reducir la dinámica del progreso de la incidencia de la roya por dos factores: 1) la aplicación del fungicida no fue oportuna con base en la fenología de la planta, y 2) el uso de algunos fungicidas no recomendados por Cenicafé, lo cual no asegura su efectividad en el control, al no contar con respaldo experimental. En el manejo dado por Cenicafé se utilizó el fungicida cyproconazole + thiamethoxam (Verdadero 600 WG) aplicado al suelo, con el cual se logró reducir la epidemia, y aunque se aplicó en la época establecida en los calendarios fijos, su aplicación fue relativamente tardía respecto a las floraciones principales (90 y 180 días después de floración), las cuales habían ocurrido anticipadamente en el mes de diciembre de 2016. Para el 2017, dados los niveles de incidencia superiores al 50% justo después de ocurrida la floración principal, se intentó bajar la tasa de progreso y prevenir defoliación prematura con una aplicación inicial de cyproconazole (Alto 100 SL), 45 días después de la floración, seguido por las dos aplicaciones en mayo y junio del fungicida cyproconazole + thiamethoxam (Verdadero 600 WG) al suelo; sin embargo, la epidemia estaba avanzada desde el año anterior y el control no presentó los resultados esperados en el 2017, así la epidemia haya sido menor respecto al manejo dado por el agricultor.

En el 2018, el agricultor, a pesar de haber tratado de ajustarse a un calendario fijo siguiendo los resultados de años previos del manejo dado por Cenicafé, seleccionó adecuadamente el ingrediente activo cyproconazole, pero utilizó otro producto que no es recomendado por Cenicafé, y solo realizó dos de las tres aplicaciones requeridas (Figura 9b), dando como resultado la estabilización temporal de la tasa de progreso de roya, que posteriormente se incrementó y le causó daños severos. En el caso del manejo dado por Cenicafé, se ajustó a las floraciones principales ocurridas en febrero de 2018, determinando el inicio de las aplicaciones 60 días después de su ocurrencia, es decir, iniciando el mes de abril y no en mayo como recomendaba el calendario fijo, con intervalos de 45 días entre las tres aplicaciones del fungicida cyproconazole + azoxystrobin (Amistar ZTRA 28SC) (Rivillas *et al.*, 2011). Se registró una reducción de la tasa de progreso de la incidencia de la enfermedad durante la formación y llenado de los frutos, hasta el momento de la cosecha cuando la incidencia de la roya se incrementó por su relación estrecha con la fisiología de la planta y la producción de café (Figura 9c).

En la validación del manejo de roya en el lote de Caturra, a 1.200 m de altitud, que se inició en el 2017 (Figura 10), el agricultor utilizó fungicidas no recomendados por Cenicafé, pero logró reducir inicialmente la tasa de progreso de la incidencia gracias a que realizó la aplicación del fungicida en abril, así las floraciones hayan ocurrido entre diciembre de 2016 y enero de 2017. En el manejo dado por Cenicafé en el 2017, a pesar de haber reducido la tasa de progreso de la roya, el control fue relativamente tardío, sin lograrse los resultados esperados siguiendo el calendario fijo, por lo distante de la época a la floración principal.

Para el 2018, el agricultor mantuvo su esquema de aplicación en abril y agosto, empleando un fungicida no recomendado por Cenicafé, pero no logró un control efectivo, ni la reducción de la tasa de progreso de la enfermedad (Figura 10b). Para el manejo dado por Cenicafé, se cambió el criterio y se ajustó teniendo en cuenta que las floraciones principales ocurrieron al finalizar febrero e iniciar marzo. A pesar de partir con un remanente alto de roya de la epidemia del 2017, se inició con una aplicación a los 60 días después de ocurridas las floraciones principales, seguida con otras dos aplicaciones a intervalos de 45 días cada una, según la recomendación de Cenicafé para el fungicida cyproconazole + azoxystrobin (Amistar ZTRA 28SC). Este plan de manejo redujo la tasa de progreso de la roya y mantuvo niveles inferiores cercanos al 30% durante el llenado de los frutos hasta su cosecha, cuando se incrementa la incidencia de roya siguiendo la fisiología de la producción de café (Figura 10c); el objetivo es conservar el 70% del follaje sano en la zona productiva del árbol durante la fase final de la epidemia antes de la cosecha.

Así se realice el control químico de la roya del cafeto en la variedad Caturra se han pérdidas del 7% en producción, y en los estudios de Cenicafé evaluando, las progenies élite y componentes de las variedades resistentes a la roya, el 21% de ellas tienen mejor producción que Caturra con control químico (Aristizábal y Duque, 2007). Estos datos reiteran que la siembra de variedades resistentes a la roya es una decisión en la cual el caficultor no se puede equivocar, y es una práctica eficiente y rentable.



Los resultados obtenidos indican que el criterio de manejo de roya, con ajuste a la ocurrencia de las floraciones principales, fue más oportuno y efectivo que el de calendario fijo para estos años y región cuando se concentran las floraciones, mientras que el de calendario fijo sigue vigente en el caso de floraciones dispersas y que concuerdan con los históricos.

Este ajuste del manejo de la enfermedad basado en la ocurrencia, concentración y magnitud de las floraciones se considera un acercamiento más preciso al desarrollo de la epidemia relacionado con la fisiología de la producción de la planta de cafeto, donde tanto las “floraciones principales” o las que producen la cosecha de “travesía o mitaca”, están sufriendo adelantos o retrasos, con relación a los picos históricos por la variabilidad climática regional, la altitud y por la ocurrencia de eventos de “El Niño” o “La Niña”.

Para ambos casos, los resultados reflejan que la adopción del criterio de ajuste a “floración principal”, iniciando el manejo de roya 60 días después de ocurrida la floración y continuando con una o dos aplicaciones a intervalos de 45 o 60 días, dependiendo del fungicida recomendado, es eficiente en el control de la enfermedad, reduciendo casi en un 30% la incidencia. Con este esquema de manejo se afectan los procesos infectivos del patógeno, lo cual se refleja positivamente en menores defoliaciones y pérdidas de producción. La eficiencia del control químico se afecta cuando las aplicaciones son tardías o sin un criterio técnico adecuado, generando una mayor acumulación de inóculo potencial de roya entre epidemias cuando las condiciones son favorables o en temporadas más cercanas a la época de cosecha.



Se deben considerar las precauciones en el uso de algunos fungicidas por sus períodos de carencia y reingreso al lote, que se deben mantener para cada producto y así evitar daños a la salud y al medio ambiente.

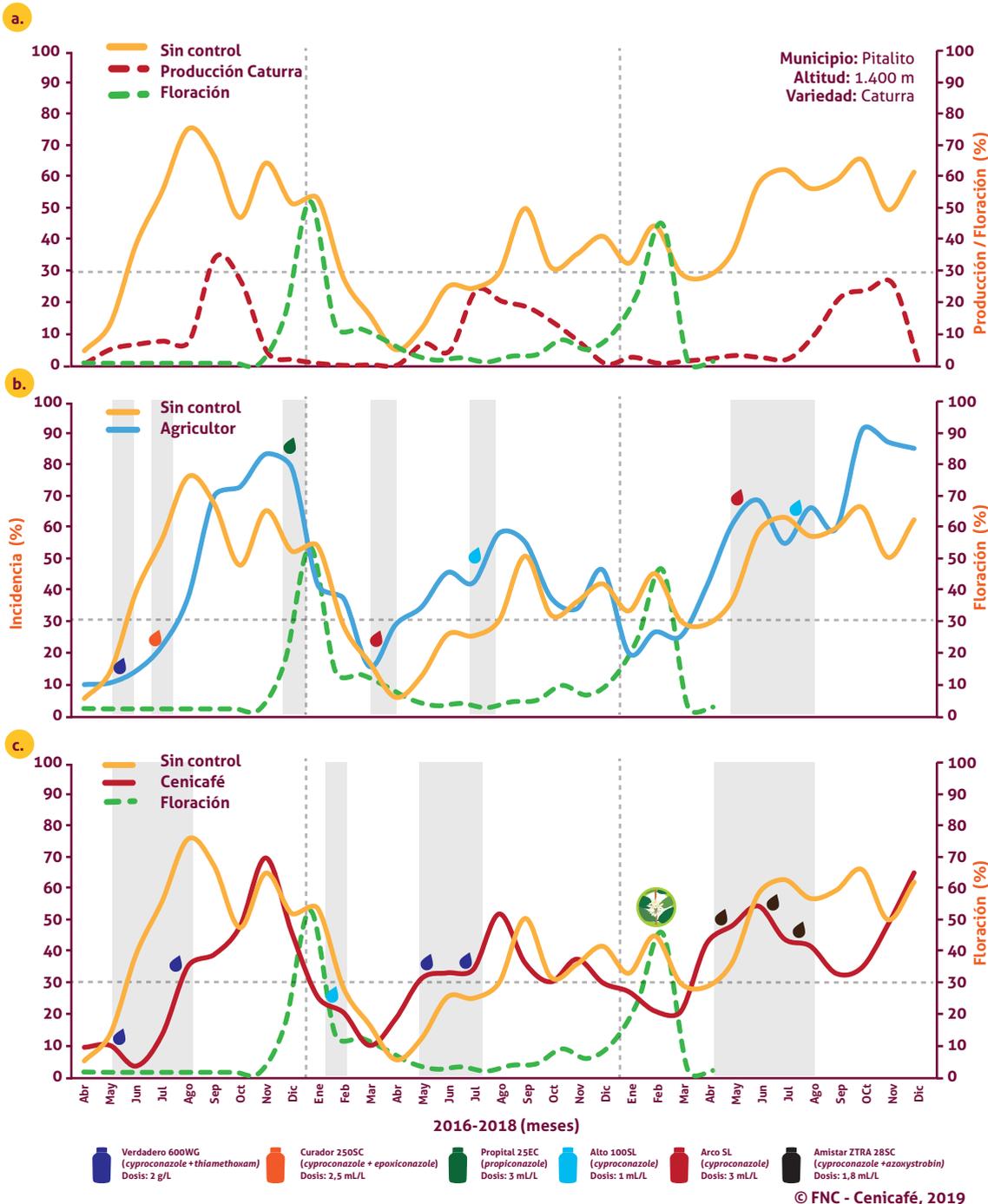


Figura 9. Comparación de la dinámica de la incidencia de roya bajo dos criterios de manejo en la variedad Caturra, en los lotes de validación del manejo integrado de la roya (MIR) en el municipio de Pitalito a 1.400 m de altitud. **a.** Dinámica de la incidencia de roya versus la producción relativa y floración; **b.** Dinámica de la incidencia de roya bajo el criterio de manejo según el agricultor; **c.** Dinámica de la incidencia de roya bajo el criterio de manejo según Cenicafé, basado el sistema de calendario fijo (Rivilla et al., 2011) y ajustado a floraciones principales (Rivillas et al., 2017).

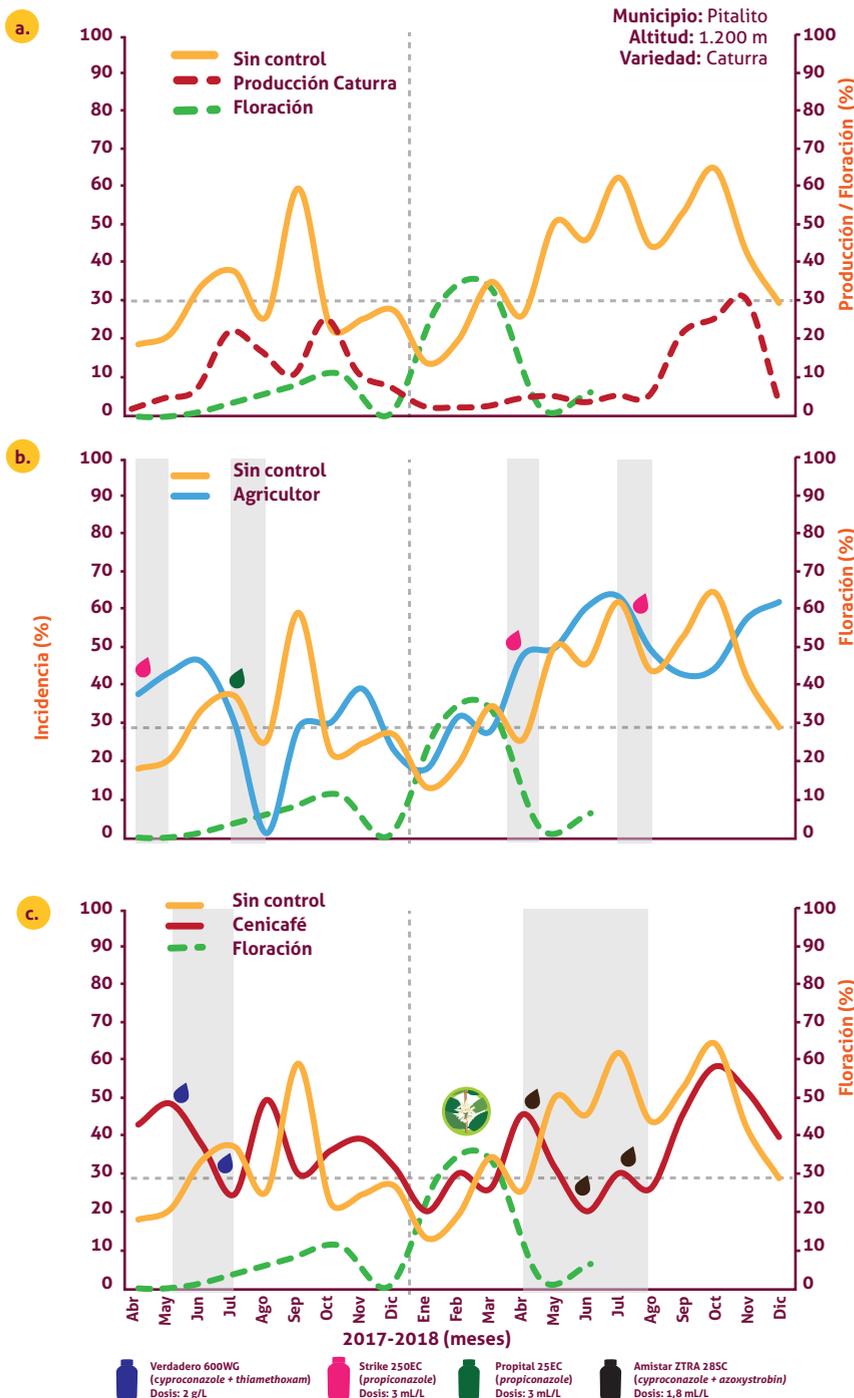


Figura 10. Comparación de la incidencia de la enfermedad bajo dos criterios de manejo en variedad Caturra, en el lote de validación de manejo integrado de la roya (MIR) en el municipio de Pitalito a 1.200 m de altitud. a. Dinámica de la incidencia de roya versus producción; b. Dinámica de la incidencia de roya bajo criterio de manejo según el agricultor. c. Dinámica de la incidencia de roya bajo criterio de manejo según recomendaciones de Cenicafé basado el sistema de calendario fijo para el 2017 según Boletín Técnico No. 36 (Rivillas et al., 2011) y basado en floración principal para el 2018 según Avance Técnico 480 (Rivillas et al., 2017).

Recomendaciones

Roya del cafeto

- La mejor, más eficiente, rentable y sostenible estrategia para el manejo de la roya del cafeto es la siembra de variedades con resistencia durable y diversa a la enfermedad, como son las variedades Castillo®, Tabi y Cenicafé 1, desarrolladas mediante la investigación de la FNC y Cenicafé.
- El manejo integrado de enfermedades como la roya del cafeto implica además, prácticas de renovación, densidades de siembra y poblaciones adecuadas de plantas de café y número de tallos, manejo de arvenses, fertilización adecuada y oportuna y manejo del sombrío, entre otras, que garanticen las mejores condiciones agronómicas para que el cultivo sea productivo en el ambiente que se encuentre. Esto es “Más Agronomía, Más Productividad” (FNC – Cenicafé, 2018).
- El tomar la decisión de sembrar una variedad susceptible como Típica, Borbón, Caturra, Geisha, Maragogipe, algunos Catimores introducidos u otros de origen desconocido necesariamente implica que debe realizarse un control químico de la roya oportuno y adecuado técnicamente.
- El manejo químico de la roya en Colombia puede realizarse siguiendo los criterios de: 1) niveles de infección de acuerdo con la edad de desarrollo de los frutos; 2) los calendarios fijos de acuerdo a los patrones históricos de floraciones y cosechas; 3) de acuerdo a la ocurrencia de la floración principal del lote. El criterio que se escoja va a depender de las condiciones y comportamiento fenológico en cada sistema de producción de café.
- El criterio de calendarios fijos es aún vigente en el caso de floraciones dispersas y que concuerdan con los históricos; sin embargo, la ocurrencia de alteraciones locales o regionales en las condiciones climáticas que determinan las floraciones en cada lote pueden generar adelantos o retrasos respecto a los patrones históricos de la región, lo que implica realizar cambios en el inicio de las aplicaciones para el control de la roya.
- El criterio de ajuste con base en las floraciones principales es más preciso y concreto siguiendo la fenología de la planta, iniciando el control 60 días después de ocurridas estas y finalizando máximo a los 180 días después de floración, empleando los productos y frecuencias de aplicación recomendados con base en la investigación de Cenicafé, que se presentan en la Tabla 2 (FNC – Cenicafé, 2018).



Tabla 2. Fungicidas recomendados para el control de la roya del café en variedades susceptibles en Colombia, actualizados al mes de enero de 2019 y ajustados al criterio de aplicación según floraciones principales (FNC – Cenicafé, 2018).

| Aplicación | Tipo de fungicida | Ingrediente activo | Producto comercial | Dosis | | Concentración* | | Criterio de aplicación | | | |
|------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------|------|----------------|------|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | | kg/ha | L/ha | g/L | mL/L | 1ra AP DDFP | 2da AP DD 1ra AP | 3ra AP DD 2da AP | 4ta AP DD 3ra AP |
| Follaje | Preventivo | oxicloruro de cobre 50% | Oxicloruro de cobre 50% | 3,0 | | 10,0 | | 60 | 45 | 45 | 45 |
| Follaje | Preventivo Curativo | hexaconazole | Mildium 50 SC | | 1,5 | | 3,5 | 60 | 45 | 60 | - |
| Follaje | Preventivo Curativo | cyproconazole | Alto 100 SL | | 0,25 | | 1,0 | 60 | 45 | 60 | - |
| Follaje | Preventivo Curativo Erradicativo | cyproconazole + azoxystrobin | Amistar ZTRA 28 SC | | 0,75 | | 1,8 | 60 | 45 | 45 | - |
| Follaje | Preventivo Curativo | pyraclostrobin | Comet EC | | 0,6 | | 3,0 | 60 | 45 | 60 | - |
| Follaje | Preventivo Curativo | flutriafol + azoxystrobin | Authority 250 SC | | 0,75 | | 1,0 | 60 | 60 | - | - |
| Suelo | Preventivo Curativo | cyproconazole + thiamethoxam | Verdadero 600 WG | 1,0 | | 2,0 | | 60 | 45 | - | - |

* Concentración para 6.000 plantas/ha la cual debe ajustarse si el número de plantas/ha se modifica.
DDFP: Días Después de Floración Principal

Muerte descendente

- El manejo integrado de la muerte descendente se basa en el conocimiento del microclima de la finca y del lote a sembrar, especialmente aquellos ubicados en altitudes por encima de los 1.600 m. El objetivo es reducir las corrientes de vientos fríos que inciden sobre las plantas, especialmente en los bordes de lotes y filos de las montañas, los cuales son frecuentes en las épocas secas o de menores lluvias entre enero a marzo y entre mayo y agosto. La siembra de barreras cortavientos, sombrío permanente si es requerido en la zona o transitorio hasta los 18 meses de edad con tefrosia, guandul, crotalaria o cultivos asociados de maíz y frijol, les brinda cobertura a las plantas de café y reduce la velocidad del viento, especialmente en la etapa más crítica del cultivo que es el levante. La estrategia de manejo para esta enfermedad también se aborda desde la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad” (FNC – Cenicafé, 2018).



Literatura citada

Alvarado, A. G., Cortina, G., H. A. y Posada, S. H. E. (2005). Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. *Avances Técnicos Cenicafé*, 337, 1-8.

Alvarado, A. G. (2011). *El café y la roya: Estrategias de resistencia incompleta*. Manizales: FNC – Cenicafé.

Arcila, P. J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En: Arcila P. J., Farfán V.F., Moreno B. A. M., Salazar G. L. F. & Hincapié G. E. (Eds), *Sistemas de producción de Café en Colombia*. (pp. 21-60). Manizales: FNC – Cenicafé.

Arcila, P. J. y Jaramillo, R. A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 311, 1-8.

Aristizábal, A. C. y Duque, O. H. (2007). Análisis económico del efecto de la roya en la variedad Caturra y progenies con resistencia incompleta. *Cenicafé*, 58(3), 167-184.

Baeza, A. C. A. y Villarraga, A. L. A. (1988). Análisis de las relaciones infección y defoliación por *Hemileia vastatrix* B. y Br. con producción y conversiones de *Coffea arabica* var. Caturra. En: CONGRESO de la Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines, 9: 22 a 24 de junio 1988, (pp. 64-65). Pasto: Ascolfi.

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – Cenicafé. (2018). *Guía Más Agronomía Más Productividad*. Manizales: FNC – Cenicafé.

Flórez, R. C. P., Ibarra, R. L. N., Gómez, G. L. F., Carmona, G. C. Y., Castaño, M. A. y Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. En: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia – Cenicafé (Eds.), *Manual del Cafetero Colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. Tomo 1 (pp. 124-168). Manizales: FNC – Cenicafé.

Flórez, R. C. P., Arias, S. J. C., Maldonado, L. C. E., Cortina, G. H., Mocada, B. M. Del P., Quiroga, C. J., Molina, V. D. M., García, L. J. C. y Duque, O. H. (2018). Variedades Castillo® zonales: resistencia a la roya con mayor productividad. *Avances Técnicos Cenicafé*, 489, 1-8.

Flórez, R. C. P., Maldonado, L. C. E., Cortina, G. H. A., Moncada, B. M. Del P., Montoya, R. E. C., Ibarra, R. L. N., Unigarro, M. C. A., Rendón, S. J. R. y Duque, O. H. (2016). Cenicafé 1: Nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD con mayor calidad física del grano. *Avances Técnicos Cenicafé*, 469, 1-8.



Gil, V. L. F. y Leguizamón, C. J. E. (2000). La muerte descendente del cafeto *Phoma spp.* *Avances Técnicos Cenicafe*, 278, 1-4.

Menza, F. H. D. y Peláez, P. M. J. (2015). Alternativas para el manejo cultural de la muerte descendente del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafe*, 456, 1-8.

Moreno, R. L. G. y Castillo, Z. J. (1984). La variedad Colombia: una variedad de café con resistencia a la roya *Hemileia vastatrix* Berk y Br. *Boletín Técnico Cenicafe*, 9, 1-25.

Moreno, R. L. G. (2002). Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del cafeto. *Cenicafe*, 53(2), 132-143.

Ramírez, B. V. H., Arcila, P. J., Jaramillo, R. A., Rendón, S. J. R., Cuesta, G. G., García, L. J. C., Menza, F. H. D., Mejía, M. C. G., Montoya, D. F., Mejía, M. J. W., Torres, N. J. C., Sánchez, A. P. M. y Baute, B. J. E. (2011). Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 407, 1-8.

Ramírez, B. V. H. (2014). La fenología del café, una herramienta para apoyar la toma de decisiones. *Avances Técnicos Cenicafe*, 441, 1-8.

Rendón, S. J. R. y Montoya, R. E. C. (2015). ¿Cómo registrar las floraciones en los cafetales?. *Avances Técnicos Cenicafe*, 455, 1-4.

Rivillas, O. C. A., Serna, G. C. A., Cristancho, A. M. A. y Gaitán, B. A. L. (2011). La Roya del Cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos del control. *Boletín Técnico Cenicafe*, 36, 51.

Rivillas, O. C. A., Hoyos, G. A. M. y Ramírez, P. I. C. (2017). Manejo de la roya: Nuevo fungicida para su control en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafe*, 480, 1-4.

Vélez, A. B. E., Jaramillo, R. A., Chaves, C. B. y Franco, A. M. (2000). Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. *Avances Técnicos Cenicafe*, 272, 1-4.

Villarraga, A. L. A. y Baeza, A. C. A. (1987). Análisis de las relaciones infección y severidad de *Hemileia vastatrix* B. y Br. con defoliación y producción de *Coffea arabica* var. Caturra. *Ascolfi*, 13(6), 50-51.

Villegas, G. C., Giraldo, J. M., Benavides, M. P. y Gil, P. Z. N. (2009). Aprenda a diferenciar la muerte descendente y la chamusquina en árboles de café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 385, 1-8.



Jenny Paola Pabón Usaqué

Asistente de Investigación

Disciplina de Calidad

Valentina Osorio Pérez

Investigador Científico I

Disciplina de Calidad

Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café

**“APLICACIÓN DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN EL CULTIVO DEL CAFÉ AJUSTADO A LAS
CONDICIONES PARTICULARES DEL HUILA”**



Introducción

Colombia cuenta con características agroecológicas (altitud, clima y suelo) y factores humanos que permiten la máxima expresión de las cualidades intrínsecas del café, generando los elementos necesarios para continuar con su posicionamiento en el mercado de calidad superior. Dicha calidad depende de numerosos factores, entre los cuales se destacan: la especie, la variedad cultivada, las condiciones ambientales, las prácticas agronómicas del cultivo, el método de beneficio empleado, las condiciones de almacenamiento del grano, el procesamiento industrial y la preparación de la bebida (Figura 1).

La producción de café de calidad requiere un compromiso continuo de monitoreo y seguimiento de los factores que influyen en ella, estos van desde el cultivo hasta tener el grano disponible para el análisis sensorial o la llamada prueba de taza, que es donde se manifiestan todos sus atributos o quedan en evidencia defectos que pudieron tener origen en alguna parte de las etapas, desde la producción, beneficio y almacenamiento del grano.

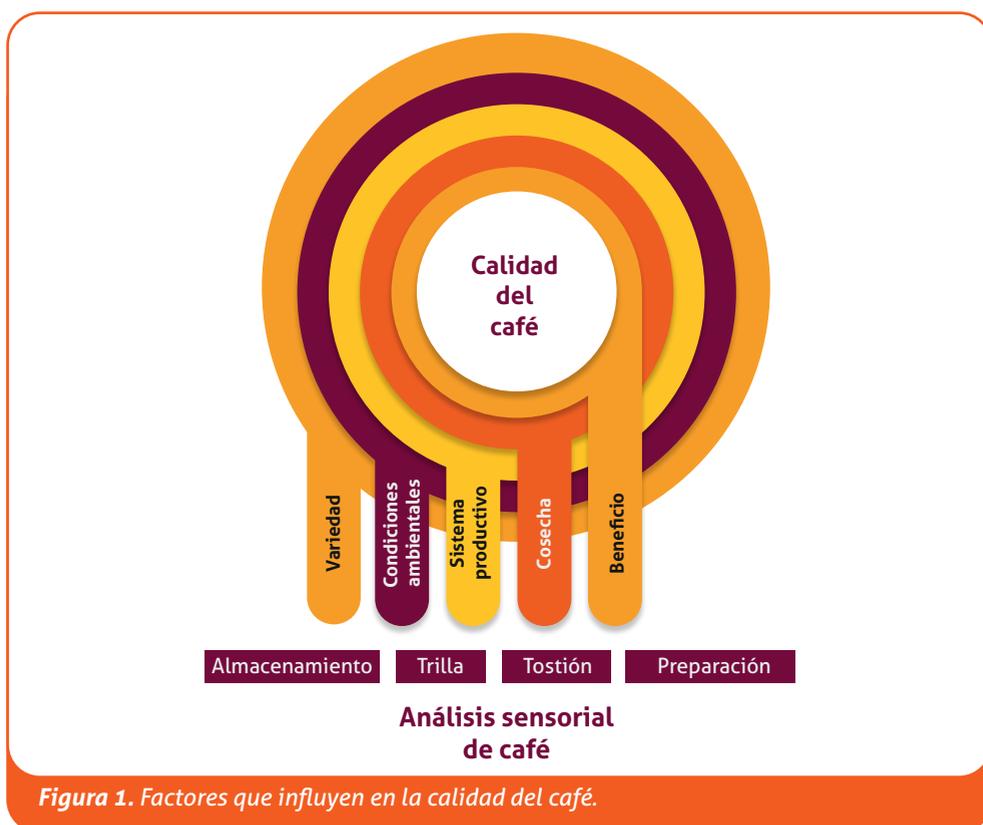


Figura 1. Factores que influyen en la calidad del café.

Desde el año 2015, la Gobernación del Huila con recursos del Sistema General de Regalías, el Comité Departamental de Cafeteros y el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, generaron actividades encaminadas a apoyar la producción cafetera en la creciente demanda internacional de café de alta calidad. En este sentido se generaron estrategias para el control de la calidad del café, que impacten positivamente la comercialización, al ofrecer a los clientes finales un producto con mayor fidelidad desde el punto de vista de calidad y que, además apuntan al mejoramiento de la cultura del café, a través del monitoreo continuo a la calidad del departamento mediante el análisis físico, químico y sensorial del café. En este capítulo se abordarán diferentes temas encaminados a explicar los factores que tienen impactos en la calidad, los indicadores de los diferentes análisis de calidad y los resultados obtenidos en la caracterización del café producido en el departamento del Huila entre los años 2015 y el 2018.

Influencia del beneficio en la calidad

El fruto de café en estado de madurez se torna rojo y recibe el nombre de cereza. Estas cerezas por su alto contenido de agua son altamente perecederas, y por tal motivo deben someterse a un proceso denominado beneficio. El beneficio húmedo del café se define como el conjunto de operaciones que se realizan para transformar el café en cereza en café pergamino seco (Cenicafé, 1991). Este proceso debe conservar la calidad exigida por las normas de comercialización y evitar pérdidas del producto.

El beneficio húmedo da lugar a los cafés conocidos como lavados, cuyo proceso es el más utilizado en Colombia. Como su nombre lo indica, el beneficio involucra el uso de agua e implica la eliminación de la pulpa y el mucílago del café, así como el lavado antes del secado, solar o mecánico (Figura 2).



Figura 2. Operaciones realizadas en el beneficio húmedo.

Recolección

La cosecha de los frutos se realiza habitualmente con el criterio práctico del color del fruto que presenta varias tonalidades rojizas. La recolección que se realiza en Colombia se denomina selectiva, puesto que se realiza de forma manual, seleccionando de manera oportuna frutos maduros, haciendo los pases necesarios y evitando que los frutos queden en la planta y se conviertan en hospedantes de la broca (Isaza *et al.*, 2006).

Las variaciones en las condiciones climáticas de cada una de las zonas cafeteras colombianas afectan la uniformidad de maduración, observándose en una misma rama frutos de diferentes estados y grados de madurez (Marín *et al.* 2003), por este motivo, la observación constante de los lotes por parte de los caficultores durante su maduración permite planificar la cosecha del café cereza, cuando se encuentre en su estado óptimo de desarrollo.

Algunos estudios han determinado que los mejores atributos sensoriales de la bebida se obtienen de frutos maduros, mientras que los verdes y pintones pueden deteriorar la calidad debido a múltiples defectos como la astringencia, sabores a cereal y acre (Puerta, 2000). De igual manera, los frutos secos originan defectos que van desde el fermento, mohos, sabores y olores extraños. Lo anterior, indica la importancia que tiene la recolección oportuna para obtener una buena calidad física y sensorial del café.

Despulpado

Consiste en retirar la pulpa de la cereza por medio de la presión y fricción que ejerce el cilindro de la despulpadora contra el pechero y la camisa. El ajuste de estos componentes en relación con el tamaño y madurez del fruto determina la calidad del café despulpado. Esta operación debe iniciarse inmediatamente después de cosechar los frutos.

El café con un grado óptimo de maduración contiene mucílago que permite un fácil despulpado (al presionar la cereza), evitando el uso del agua en esta etapa (Roa *et al.*, 1999). En este proceso los granos no deben sufrir algún daño ni cambio físico, es decir, deben conservar su integridad.

Remoción de mucílago

El mucílago es un hidrogel compuesto principalmente por agua, azúcares y sustancias pécticas. Este recubre o envuelve el grano despulpado, tiene de 0,4 a 2,0 mm de espesor, representando aproximadamente el 22% del peso del café despulpado. La cantidad del mucílago depende en gran medida del grado de madurez del fruto (Peñuela, 2010).

En el método de beneficio húmedo debe removerse mediante el proceso de fermentación natural o mecánica. La composición química del mucílago en combinación con las levaduras y bacterias presentes en el ambiente y en los equipos donde se realiza el beneficio húmedo, explica la ocurrencia natural de la fermentación a temperatura ambiente, sin recurrir a inoculaciones (Puerta, 2010).

Remoción del mucílago por fermentación natural. La fermentación del mucílago de café es un proceso biológico donde las enzimas producidas por las levaduras y las bacterias descomponen los azúcares contenidos en éste, generando el rompimiento de la estructura y facilitando su eliminación completa durante la etapa de lavado; tradicionalmente, se realiza en tanques de concreto, con revestimiento de acero inoxidable (Figura 3) y plástico (Puerta, 2015).

En este proceso intervienen numerosos factores biológicos, químicos y físicos, sin embargo, se han referenciado los principales factores que pueden incidir en su duración: temperatura del ambiente, uso de agua durante el despulpado y la fermentación y el grado de madurez, asociado con la cantidad del mucílago en el grano, aunque se desconoce específicamente el efecto de estas variables sobre el tiempo de finalización de la fermentación del mucílago.

Por este motivo, anteriormente los caficultores recurrían a métodos tradicionales para determinar el punto de finalización del proceso de fermentación y de lavado del café. Los métodos más utilizados eran: el orificio y el tacto, es decir, la presencia del agujero dejado por un madero cuando es introducido en la masa de café y la sensación áspera detectada por el tacto al tomar una muestra de café y lavarla, sin embargo son mediciones subjetivas del punto de lavado, que dependen de la experiencia del usuario y aunque la prueba fuera positiva en la mayoría de los casos, el café debía lavarse varias veces para asegurar la eliminación completa del mucílago, aumentando el consumo específico de agua y poniendo en riesgo la calidad final del café (Peñuela, 2010). La falta de controles objetivos en esta etapa tiene incidencia directa en la calidad del café. Peñuela *et al.* (2012) demostraron que un retraso en el tiempo de fermentación, mayor a 2 horas después de que el proceso ha finalizado, tiene efecto directo en la aparición de defectos en taza tales como vinagre y fermento.

En Cenicafé se desarrolló un dispositivo llamado Fermaestro™ (Peñuela *et al.* 2013), para verificar el momento de la finalización del proceso de fermentación, para su posterior lavado. El Fermaestro™ es un recipiente perforado, en forma de cono truncado (Figura 4), donde se deposita una muestra de café recién despulpado y se introduce en la masa de café en proceso de fermentación y a medida que avanza el proceso, disminuye



Figura 3. Tanques de fermentación.



Figura 4. Dispositivo Fermaestro™ para determinar el punto final de la fermentación del mucílago del café.

el volumen ocupado por la masa de café en el dispositivo, debido al cambio de densidad aparente del café y del drenado del mucílago, lo que ocasiona el aumento de la altura del espacio vacío en la parte superior del Fermaestro. Cuando se estabiliza dicha altura, significa que se ha alcanzado el punto de lavado.

Desmucilaginado mecánico. El mucílago también puede removerse por medios mecánicos a través del uso de agitadores, a altas velocidades, que promueven roces entre los granos de café recién despulpados y las partes móviles y fijas del equipo, para realizar el desprendimiento del mucílago (Figura 5). En Cenicafé, se desarrolló el Becolsub, tecnología donde se integran el despulpado, remoción de mucílago y lavado del café (Roa *et al.*, 1999). En esta tecnología, todas las máquinas acopladas y la cantidad de agua, deben ser calibrados para garantizar el correcto funcionamiento, debido a que los granos pueden quedar con restos de mucílago que podrían continuar su proceso de fermentación durante el secado y generar defectos a la calidad del café (Pabón *et al.*, 2009).



Figura 5. Desmucilaginator mecánico.

Lavado. El lavado permite retirar totalmente el mucílago fermentado del grano. Normalmente se realiza añadiendo agua limpia y filtrando en repetidas ocasiones al tanque de fermentación. El uso de agua limpia evita defectos físicos y sensoriales como el grano manchado y sabores a fermento.

En Cenicafé se desarrolló el tanque tina, que reduce el consumo de agua contribuyendo a las prácticas sostenibles en el proceso productivo del café. El tanque consiste en una estructura rectangular, con esquinas redondeadas, con la capacidad para que se realice el proceso de fermentación del mucílago y un eficiente lavado y clasificación del café (Zambrano, 1993). El lavado en el tanque tina (Figura 6) se consumen menos de cinco litros de agua por cada kilogramo de café pergamino seco. El lavado del café fermentado se lleva a cabo dentro del tanque tina, haciendo cuatro enjuagues, en el cuarto y último enjuague se adiciona agua hasta cinco centímetros por encima de la masa de café y se agita para retirar los flotes o granos vanos. Finalmente, se hace el último drenaje y la descarga.



Figura 6. Lavado del café en el tanque tina con la paleta plástica Cenicafé.

En 2013, Cenicafé lanzó la tecnología Ecomill® (Oliveros *et al.*, 2013), donde se emplea la fermentación natural para degradar el mucílago y el café se lava mecánicamente, con reducción notoria en el volumen específico de agua, hasta valores entre 0,3 y 0,5 L/kg de c.p.s (Figura 7).



Figura 7. Tecnología Ecomill®.

Secado. El secado es un proceso de eliminación de agua que logra la conservación y la estabilidad del café durante su almacenamiento y comercialización, al disminuir el contenido y la actividad del agua en el café. El punto de equilibrio corresponde a 12% de contenido de humedad; el café con humedad mayor a 12,5% (actividad de agua superior a 0,7) puede causar pérdidas a la calidad del grano, al producir calentamiento de la masa y generar focos de hongos e insectos (Puerta, 2006).

Los principales factores para el crecimiento de los microorganismos son el sustrato, la disponibilidad de agua, la temperatura y el pH. Los métodos de preservación de la calidad de los alimentos se basan en principios que buscan disminuir la disponibilidad de agua, reducir la temperatura, controlar el pH o variar el potencial de óxido reducción (Puerta, 2006). El proceso de secado en café disminuye el contenido inicial de agua entre 50% - 55% hasta el 10% - 12%, aproximadamente, obteniendo el denominado café pergamino seco (c.p.s).

La temperatura del aire de secado tiene influencia significativa en la calidad del grano, temperaturas excesivamente altas ocasionan defectos como los granos cristalizados. Para establecer las temperaturas máximas utilizadas durante el proceso de secado, es necesario considerar que la temperatura del aire casi siempre es mayor que la temperatura del grano y, en muchos secadores, durante la última etapa de secado, la masa de granos alcanza la temperatura del aire.

Los granos que van a ser utilizados como semillas deben conservar un alto porcentaje de germinación y las altas temperaturas dañan el embrión. Para garantizar la viabilidad de las semillas se recomienda no dejar que la temperatura del grano sobrepase los 38°C durante el secado. Así mismo, con el fin de asegurar una buena calidad, se recomienda no secar los granos a temperaturas superiores a los 50°C. En Colombia el proceso de secado se efectúa de dos maneras: secado al sol y por medios mecánicos utilizando silos de capa estática principalmente.

Secado natural o solar. El secado natural o al sol se logra al disponer los granos húmedos sobre superficies que permitan su interacción directa con la energía proveniente del sol y del aire (Figura 8). Este tipo de secado permite obtener un producto final con una humedad muy uniforme y con un bajo costo.



Figura 8. Granos de café en proceso de secado natural o solar.

Las estructuras más utilizadas para este tipo de secado son los patios, carros y secadores parabólicos (Figura 9). Se ha establecido que para las zonas cafeteras colombianas se requiere en promedio 1,5 m² de área de secado solar para cinco arrobas de café pergamino seco.



Figura 9. Estructuras empleadas para el secado solar.

En la fase inicial del secado, la capa de café debe ser lo más delgada posible, para que garantice que todos los granos tengan la misma oportunidad de tener contacto con el aire que retira la humedad. En la segunda fase, cuando el café se encuentra cerca al rango de humedad final (10% al 12%), se utilizan capas de máximo 2 cm de altura, para garantizar la uniformidad de la humedad en todos los granos del café.

Durante el secado deben realizarse por lo menos cuatro volteos del café al día, para permitir que todos los granos tengan el mismo contacto con el sol y el aire. Se recomienda utilizar el rastrillo Cenicafé, debido a que este garantiza un mejor volteo del café.

Son muchas las variables que tienen incidencia directa en la duración de este tipo de secado: la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire, el contenido de humedad del grano, el tipo de material del secador, el espesor de la capa, el procedimiento y periodicidad para revolver los granos, por tal motivo no pueden establecerse tiempos fijos de finalización del mismo. Los menores tiempos de secado (3 a 7 días) se han obtenido con un promedio de brillo solar superior a 5 h/día, con altura de capa máxima de café lavado de 2 cm (13 kg de café lavado por metro cuadrado), revolviendo el café por lo menos cuatro veces al día.

Para determinar la humedad final del grano durante el proceso de secado, tradicionalmente se utilizan métodos subjetivos como la dureza y el color del grano, con los cuales se corre el riesgo de obtener contenidos de humedad por fuera del rango, que afectan la calidad, inocuidad y el precio del café. Oliveros *et al.* (2009) desarrollaron el método Gravimet, con el cual se determina el contenido de humedad durante el proceso de secado, empleando una canastilla con una muestra de control de 200 g de café lavado, la cual se ubica en las mismas condiciones del resto de café. El peso del café en la canastilla se verifica a medida que transcurre la pérdida de agua, hasta que alcanza un valor entre 104 a 105 g (Figura 10), valor que indica que la humedad del café está en el rango deseado del 10% a 12%.



Figura 10. Tecnología Gravimet para determinar la humedad final del café durante el secado solar.

Secado mecánico. El secado mecánico consiste en hacer pasar a través de una capa de café un volumen de aire determinado, impulsado por un ventilador y calentado en forma indirecta, a una temperatura no mayor a 50°C. La capa de secado debe tener máximo 40 cm y estar nivelada, adicionalmente el flujo de aire debe intercambiarse cada seis horas, para garantizar una mayor uniformidad en el secado. El cálculo de la cantidad de aire que debe circular por el espacio intergranular es importante, pues de este depende la transferencia de calor necesaria para producir la evaporación y retirar el vapor de agua de los granos.

El caudal específico de aire es de vital importancia para el éxito de la operación de secado. Si es insuficiente, se incrementa el tiempo de secado y los granos presentan alta variación en el contenido final de humedad. Por otro lado, si el caudal es mayor de lo necesario, se incrementarán los costos del secado, debido a una potencia superior del ventilador y, por consiguiente, un mayor consumo de energía.

Métodos para medir la calidad

La calidad del café se determina por el conjunto de características químicas, microbiológicas, físicas y organolépticas (Figura 11), que motivan a un comprador a pagar un precio mayor por el producto, lo que representa un mejor ingreso y mayor rentabilidad para el caficultor.

Para la evaluación de la calidad de un producto se requiere del conocimiento de las propiedades y cualidades que permiten clasificarlo dentro de los valores de calidad, así como aquello que constituye un defecto o una característica no aceptable para el consumo. El análisis físico y sensorial del café describe las principales características de la calidad del café que comprende: los granos negros, vinagres, flojos, aplastados, granos excelsos, entre otros granos, y las sensoriales como aroma, cuerpo, acidez.



Figura 11. Indicadores de la calidad del café.

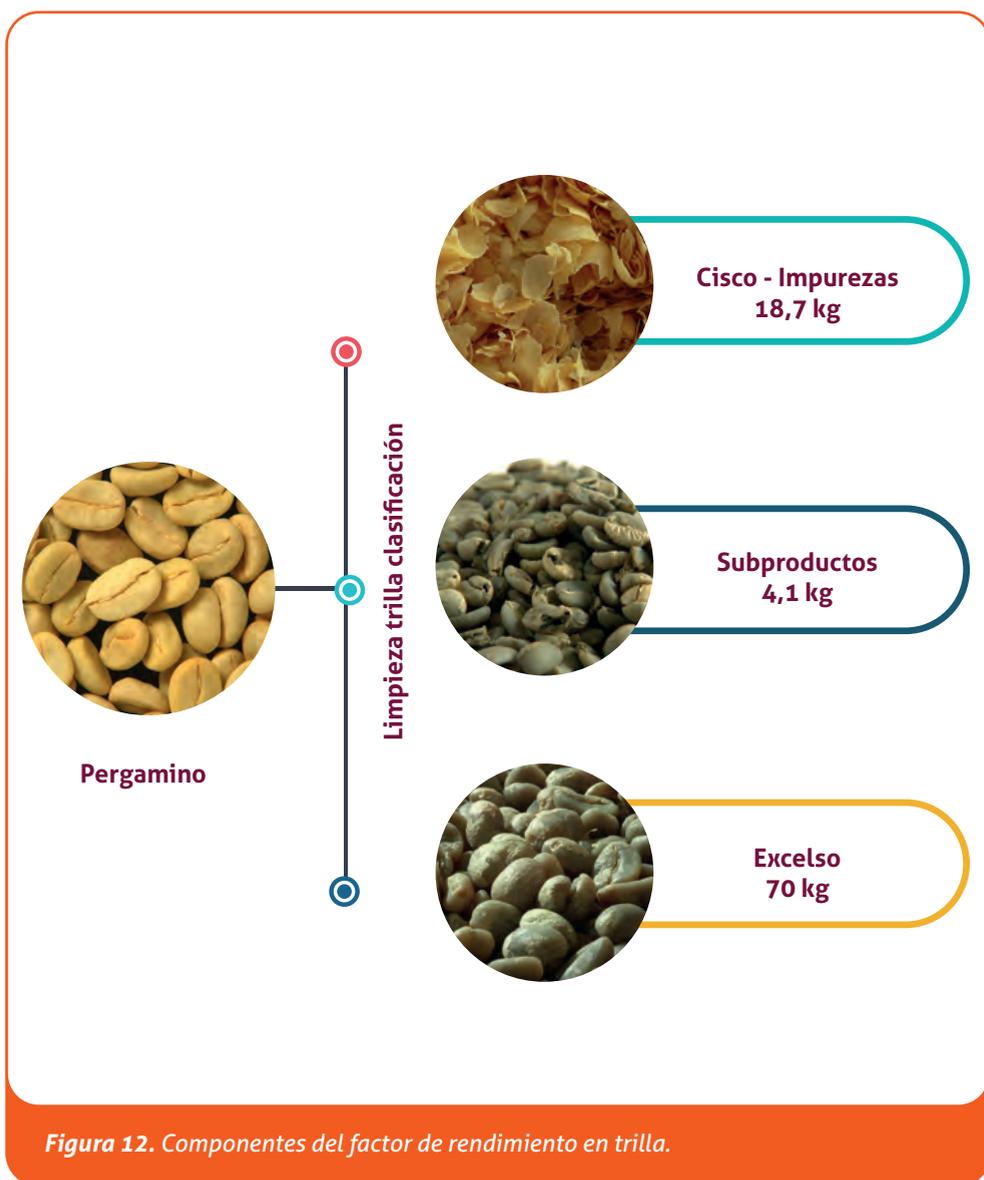
Análisis físico de café pergamino seco

La calidad física del café se establece a través de examen visual, con una valoración de los defectos del café verde, así como la evaluación de su aspecto general. La calidad física del café se define como la cantidad de almendra sana, libre de granos que no cumplen con los requisitos exigidos por los cafés tipo exportación.

En Colombia se considera el porcentaje de humedad del café pergamino seco (10%-12%) como requisito para la compra de café, y se evalúa el porcentaje de almendra sana o factor de rendimiento (Figura 12). El precio del café obtenido en la comercialización depende de la calidad del café que se lleve al punto de compra.

Los aspectos más importantes evaluados dentro de la calidad física del café son:

- **Porcentaje de humedad:** debe estar entre el rango de 10% al 12%.
- **Porcentaje de almendra sana:** es la cantidad de granos sanos, sin algún defecto presente en una cantidad determinada de café.
- **Factor de rendimiento:** es la cantidad de café pergamino seco que se necesita para obtener un saco de 70 kilogramos de café excelso. Actualmente, el promedio del factor de rendimiento en el país es de 92,8, que corresponden a 92,8 kg de café pergamino seco para obtener 70 kg de café excelso. Lo restante corresponde a cisco y defectos (Figura 12).



Los defectos del café verde se clasifican en defectos del primer y segundo grupo. Entre los defectos del primer grupo se encuentran: negro total o parcial, cardenillo total o parcial, vinagre o parcialmente vinagre, reposado y ámbar o mantequilla. Entre los defectos del segundo grupo o menores están: cristalizado, decolorado vetado, decolorado sobresecado, mordido o cortado, picado por insectos, averanado o arrugado, ligeramente picado por broca, averanado, aplastado y grano flojo. En la Tabla 1 se presentan las descripciones de los defectos físicos del café, su definición y sus posibles causas.

Tabla 1. Definición, efectos y causas de los defectos físicos del café.

| Nombre del defecto | Definición NTC 3314 | Efectos en la taza | Causas | Muestra |
|-------------------------------------|--|--|--|--|
| Negro total | Externa e internamente: grano de café donde más de la mitad de las superficies externa e interna son negras | Fermento o sabor <i>stinker</i> , sucio, mohoso, agrio, sabor fenólico. | Causado principalmente por sobrefermentación de granos verdes, otra causa es sequía y por enfermedades (hongos). |  |
| Negro parcial | Externa e internamente: grano de café donde la mitad o menos de la mitad de las superficies externa e interna son negras | | |  |
| Vinagre | Grano de café deteriorado por exceso de fermentación, cuyo color va del crema pardo y produce un sabor avinagrado cuando se tuesta o se prepara en infusión | Puede producir sabores agrios o vinagres, fermento o <i>stinker</i> dependiendo del grado de sobre fermentación del grano. | Agrícolas y beneficio. El grano vinagre se produce por fermentación, que es el resultado de contaminación microbial en varias etapas del proceso de beneficio. |  |
| Daño por hongos o cardenillo | Grano de café almendra con manchas de color amarillo naranja, ocasionadas por hongos. | Puede producir sabores a fermento, moho, tierra, sucio y fenol. | Son causados principalmente por hongos que infectan el grano en cualquier etapa del proceso, desde la recolección hasta el almacenamiento. Condiciones adversas de temperatura y humedad facilitan la propagación de hongos. |  |
| Cereza seca | Fruto seco del árbol del café, que comprende su pulpa y uno o más granos. Café guayaba: grano de café seco para trilla que tiene adherida al pergamino la mitad de la pulpa (cacota) o más. | Puede producir sabores a fermento, moho o sabor fenólico. | Beneficio. Es el resultado de un deficiente proceso de despulpado y de eliminación de los flotes; falta de mantenimiento o mal ajuste de maquinaria. |  |

Tabla 1. Definición, efectos y causas de los defectos físicos del café.

| Nombre del defecto | Definición NTC 3314 | Efectos en la taza | Causas | Muestra |
|---|--|---|--|---|
| <p>Dañado por insectos (brocado severo - brocado leve)</p> | <p>Grano de café dañado interna o externamente por el ataque de insectos.</p> | <p>Pueden resultar sabores sucios, agrios, moho especialmente en grandes cantidades de grano brocado.</p> | <p>La broca (<i>Hypothenemus hampei</i>) perfora la cereza aún en el árbol, formando túneles en la semilla, con el fin de reproducirse en su interior. La incidencia de la broca tiende a disminuir a mayor altitud del cultivo.</p> |  |
| <p>Grano inmaduro</p> | <p>Grano de café biche, a menudo con superficie arrugada.</p> | <p>Generalmente imparte sabores a hierba, paja o verdosos y es causa principal de la astringencia.</p> | <p>El grano inmaduro no ha madurado correctamente debido a varios factores que incluyen: la recolección de granos verdes o inmaduros; maduración irregular en variedades de maduración tardía cultivadas en zonas de mayor altitud, falta de fertilización y cuidados del cultivo.</p> |  |
| <p>Grano averanado</p> | <p>Grano de café que aparece arrugado y de peso liviano.</p> | <p>Generalmente imparte sabores a hierba, paja seca</p> | <p>Agrícolas. El grano averanado o arrugado se debe principalmente a la falta de agua o sequía durante el desarrollo del grano. La intensidad del daño depende de la duración e intensidad del período seco.</p> |  |
| <p>Concha</p> | <p>Grano malformado que presenta cavidad.</p> | <p>Las conchas se pueden quemar y producir sabores a quemado o carbonizado.</p> | <p>Agrícolas. Este defecto se debe a factores genéticos del árbol.</p> |  |
| <p>Flotador (blanco de baja densidad)</p> | <p>Grano de café blanco y peso ligero, con una densidad por debajo de la de un grano sano.</p> | <p>Sabores a fermento, hierba, paja seca, tierra o moho. Puede también diluir el sabor del café sin causar sabores defectuosos.</p> | <p>Beneficio. Este defecto es causado principalmente por mal secado del café o deficientes condiciones de almacenamiento. Granos de pergamino dejados en los rincones de los patios o secadoras, generalmente se blanquean y pierden color y peso. Café pergamino mal secado o almacenado en condiciones extremadamente húmedas, también puede causar granos flotadores.</p> |  |

Análisis sensorial de café

El análisis sensorial, es decir, el estudio de aquellas propiedades de los alimentos que afectan los órganos de los sentidos, es hasta ahora el método más eficiente para evaluar la calidad del café.

Las características de color, aspecto, olor y sabor de los alimentos, estimulan la visión, el olfato, el tacto y el gusto, produciendo estímulos que van al cerebro, donde ocurre la percepción o correlación de impresiones sensoriales, convirtiéndose en un juicio por medio del cual se determina si un producto es aceptado o rechazado.

Para este tipo de análisis es importante señalar que el ser humano resulta imprescindible como "instrumento de medida". Con sus sentidos es capaz de detectar componentes situados muy por debajo de la capacidad de medición de los instrumentos analíticos. Con su interpretación y su valoración, el hombre puede comunicar más datos sobre un producto que el más sensible de los procesos analíticos.

La catación tiene los siguientes objetivos:

- Definir si el café tiene defectos o sabores desagradables.
- Describir los atributos y los sabores agradables.
- Evaluar su intensidad.
- Decidir si el café es malo, regular, promedio, bueno, muy bueno o sobresaliente.
- Informar sobre los resultados obtenidos.

Atributos sensoriales del café (SCA, 2015)

- **Fragancia/aroma:** los aspectos aromáticos incluyen la fragancia (definida como el olor del café de la muestra molida cuando todavía está seca), y el aroma (olor del café mezclado con agua caliente).
- **Sabor:** el sabor representa la característica principal de café, es una impresión combinada del sabor y el aroma.
- **Sabor residual:** se define como la duración de las cualidades positivas del sabor que se perciben en la parte posterior del paladar.
- **Acidez:** se describe como aquella sensación en la lengua que hace salivar. A menudo se describe como "brillante" cuando es favorable o "agria" cuando es desfavorable.
- **Cuerpo:** La calidad del cuerpo se basa en la sensación de pesadez del líquido en la boca, especialmente cómo se percibe entre la lengua y el paladar superior de la boca.
- **Balance (o equilibrio):** es el resultado del complemento o contraste de los diferentes aspectos del sabor del café como son acidez, sabor residual y cuerpo de la muestra.

Defectos sensoriales del café

Los defectos son los sabores negativos que generan el rechazo del café. En la Tabla 2 se presentan las descripciones de los defectos en el sabor del café.

Tabla 2. Definiciones de los defectos sensoriales del café.

| Grupo | Defecto | Definición NTC 2758 |
|------------------------|----------|---|
| Sobrefermentado | Pulpa | 4.29. Aroma y sabor que da en la bebida un gusto al fruto de café sobremaduro, que evoca el aroma a la pulpa fresca. |
| | Vinagre | 4.77. Sensación olfativa y gustativa diferente a la de la acidez natural, caracterizada por la descomposición intermedia a ácido acético, generalmente ocasionada por una fermentación excesiva. |
| | Fermento | 4.48. Sensación olfativa y gustativa a materia orgánica descompuesta, indeseable en el café. Producido en la sobrefermentación enzimática de compuestos orgánicos durante el beneficio. |
| | Stinker | 4.50. Sensación de aroma y sabor fuerte y defectuoso a materia orgánica putrefacta, se origina por una excesiva sobrefermentación de las cerezas del café o deficientes condiciones de su beneficio. |
| Áspero | Acre | 4.28. Sensación olfativa y gustativa áspera, amarga, astringente, picante y pesada. Suele estar asociada a la presencia de granos defectuosos especialmente negros. |
| | Áspero | 4.36. Sensación táctil fuerte, rasposa y tosca, indeseable en el café, causada por presencia de granos defectuosos, deficiencias en el proceso de industrialización, deterioro del café tostado o preparación de la bebida. |
| | Inmaduro | 4.53. Percepción de aroma y sabor que puede ser ocasionada por la presencia de frutos de café verdes y pintones que producen tazas astringentes, agresivas y que no tienen características organolépticas desarrolladas. |
| Terroso | Sucio | 4.73. Sensación de aroma y sabor asociada a polvo, pesada en el paladar e indeseable en el café. Originado por deficiencias de la limpieza en el beneficio y almacenamiento del café verde y pergamino. |
| | Paja | 4.62. Sensación de aroma y sabor característica a hierba o grama seca o heno, puede presentarse en cafés frescos deficientemente secados o por la transformación de material orgánico durante su almacenamiento. |
| | Mohoso | 4.58. Aroma y sabor indeseable del café, característico a moho que se desarrolla por el inadecuado manejo de la humedad durante el beneficio, en especial en el secado del café y durante su almacenamiento. |
| | Terroso | 4.74. Aroma y sabor a tierra húmeda o recién movida, indeseable en los cafés arábigos; en algunos casos se asocia al hollejo de la papa. Esta característica se puede presentar por un secado inadecuado del café sobre tierra durante el beneficio. |
| | Reposo | 4.98. Sabor y aroma característico de café verde, que debido al tiempo y condiciones de almacenamiento han hecho que las características de aroma y sabor, especialmente la acidez, hayan disminuido. En el caso de café fresco esta característica se considera un defecto. Cuando aparecen leves notas de reposo en un café, la sensación es denominada como ligero reposo (<i>oldish</i>). |

Continúa...

Continuación...

| Grupo | Defecto | Definición NTC 2758 |
|---------------------|--|--|
| Contaminados | Humo | 4.32. Sensación olfativa asociada a la presencia de humo que se impregna en el café en cualquier etapa, desde el beneficio hasta la preparación de la bebida, debida a condiciones inadecuadas. |
| | Combustible | 4.42. Característica que presenta el café por contaminación con derivados del petróleo como ACPM o gasolina durante su beneficio, transporte, almacenamiento o torrefacción. |
| | Fenol | 4.47. Aroma y principalmente sabores indeseables en el café, asociado a compuestos halogenados (con cloro, yodo). Se puede generar durante el beneficio por lavado con aguas cloradas o con residuos de desinfectantes, o por rehumedecimiento del café durante el secado. |
| | Metálico | 4.57. Sensación gustativa similar a la que toma el agua en contacto directo con superficies metálicas recién pulidas. Indeseable en el café, puede presentarse por el agua o los recipientes utilizados en la preparación de la bebida. |
| | Químico | 4.68. Aroma y sabor a compuestos químicos como desinfectantes o medicinales, característicos de los hospitales e indeseables en el café. Se pueden generar en cafés muy tostados. |
| | Contaminado- No identificado (extraño) | 4.60. Característica de sabor y aroma indeseables en el café que no se puede definir. |

Composición química del café verde

La composición química del café almendra determina la calidad final del producto, por lo cual es importante conocer el contenido de los principales precursores químicos que afectan la bebida. La cafeína es estable al calor y se asocia generalmente con el sabor amargo distintivo del café (Perrone *et al.*, 2008). La trigonelina es un alcaloide cuya importancia está relacionada con su degradación durante el proceso de tuestión, para dar varios compuestos volátiles que influyen en el aroma la bebida (Caporaso *et al.*, 2018).

Los perfiles volátiles y, posteriormente, los perfiles aromáticos y las cualidades sensoriales del café tostado dependen en gran medida de la composición de los precursores de aromas presentes en los granos de café verde antes de la tuestión. Esto fue corroborado por estudios que demostraron que las diferencias en las concentraciones de precursores de aromas como las proteínas, carbohidratos y ácidos clorogénicos en los granos de café verde, de la misma variedad, correspondió a diferentes calidades después del tostado (Franca *et al.*, 2005).

Los ácidos clorogénicos son compuestos fenólicos que influyen en la formación del aroma, astringencia y amargo. La sacarosa, compuesto más abundante, actúa como precursor del aroma, originando varias sustancias en el proceso de tuestión, debido a las reacciones de Maillard que afectan el sabor y aroma de la bebida. La presencia de lípidos se asocia con la duración del aroma y la espuma de la bebida, y su acumulación depende de varios factores, particularmente de la especie (Tabla 3).

Tabla 3. Rango de valores de los principales compuestos químicos y su influencia en la calidad sensorial.

| Compuesto | Rango café arábica verde (% base seca) | Influencia en los atributos sensoriales | Fuente |
|----------------------------|--|---|-----------------------------|
| Sacarosa | 5,3 – 9,3 | Precursor del sabor, aroma, acidez y color | Clifford, 1985 |
| | 6,25- 8,45 | | Clarke y Macrae, 1985 |
| | 8,0 | | Puerta, 2011 |
| Cafeína | 0,6 -1,5 | Amargo | Clifford, 1985 |
| | 0,9-1,2 | | Clarke y Macrae, 1985 |
| | 1,7±0,02 | | Franca <i>et al.</i> (2005) |
| | 1,20 | | Puerta, 2011 |
| Trigonelina | 1,0 | Precursor del aroma | Clifford, 1985 |
| | 1,0-1,2 | | Clarke y Macrae, 1985 |
| | 0,64±0,28 | | Franca <i>et al.</i> (2005) |
| | 1,34 ±0,5 | | Farah, 2005 |
| | 1,0 | | Puerta, 2011 |
| Ácidos clorogénicos | 5,5 -8,0 | Acidez, astringencia y amargo | Clarke y Macrae, 1985 |
| | 6,2 – 7,9 | | Clifford, 1985 |
| | 6,90 | | Marín y Puerta, 2008 |
| Lípidos | 10-14 | Precursores del sabor y cuerpo de la bebida | Clifford, 1985 |
| | 12,0-18 | | Clarke y Macrae, 1985 |
| | 11,13 ±0,13 | | Franca <i>et al.</i> (2005) |
| | 16,2 | | Puerta, 2011 |
| Minerales | 3,0 – 4,2 | - | Clarke y Macrae, 1985 |



Descripción de las fincas participantes en la caracterización de la calidad del Huila

En total se analizaron 562 muestras de café, procedentes de los 35 municipios cafeteros del Huila (Tabla 4).

Tabla 4. Cantidad de muestras analizadas durante la caracterización de la calidad del café del Huila.

| Municipio | Número de muestras | Municipio | Número de muestras |
|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| Acevedo | 47 | Neiva | 14 |
| Agrado | 5 | Oporapa | 16 |
| Aipe | 5 | Paicol | 10 |
| Algeciras | 20 | Palermo | 10 |
| Altamira | 5 | Palestina | 20 |
| Baraya | 5 | Pital | 18 |
| Campoalegre | 10 | Pitalito | 60 |
| Colombia | 10 | Rivera | 5 |
| Elías | 5 | Saladoblanco | 15 |
| Garzón | 33 | San Agustín | 25 |
| Gigante | 19 | Santamaría | 10 |
| Guadalupe | 19 | Suaza | 25 |
| Hobo | 5 | Tarqui | 11 |
| Íquira | 10 | Tello | 14 |
| Isnos | 15 | Teruel | 10 |
| La Argentina | 10 | Tesalia | 5 |
| La Plata | 43 | Timaná | 18 |
| Nataga | 10 | Total | 562 |

Caracterización técnica de las fincas

El promedio de área en café de las 123 fincas del muestreo fue de 6,0 ha, el valor mínimo fue de 0,24 ha y el máximo de 98,0 ha. El 36,3% de las fincas presentaron menos de 3 ha en café (Figura 13).

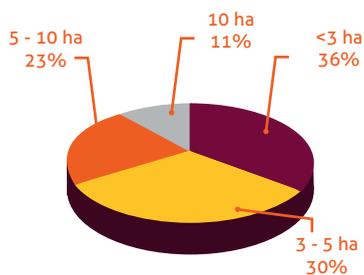


Figura 13. Distribución de las fincas según el área en café.

El 73% de las fincas participantes tenían establecidos cafetales con variedades resistentes a la roya de cafeto, como Castillo®, Colombia y Tabi (Figura 14). El 28% de las fincas se ubicaban a altitudes por encima de 1.700 m, el 70% entre 1.300 y 1.700 m, y el 2% por debajo de 1.300 m (Figura 15).

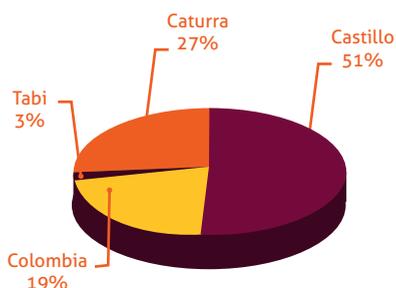


Figura 14. Distribución de las fincas según la variedad de café cultivada.

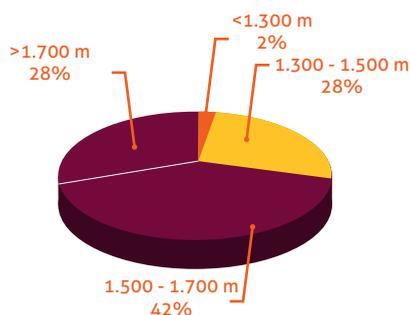


Figura 15. Distribución de las fincas según la altitud.

Resultados de la medición de la calidad física

Las variables de la calidad física del café que se midieron incluyeron la humedad del café pergamino seco, la merma, la proporción de grano brocado, pasilla, almendra sana y el factor de rendimiento en trilla, se midieron según los métodos de análisis de Almacafé. Los promedios indican que las variables físicas permiten el cumplimiento de los requisitos de calidad del café, aumentando la posibilidad de los caficultores de vender su producto a un mayor precio (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de los atributos de calidad física.

| Variable | Valores observados | | Promedio | Mediana |
|------------------------------|--------------------|--------|----------|---------|
| | Mínimo | Máximo | | |
| Humedad (%) | 9,2 | 13,7 | 11,3 | 11,3 |
| Merma (%) | 16,2 | 21,5 | 18,3 | 18,3 |
| Pasilla (%) | 0,0 | 8,6 | 1,1 | 0,9 |
| Broca (%) | 0,0 | 10,6 | 1,5 | 1,0 |
| Almendra sana (%) | 69,0 | 83,3 | 79,6 | 80,0 |
| Factor de rendimiento | 84,5 | 103,0 | 88,9 | 88,1 |

En cuanto a la variable tamaño del grano de café almendra, según la distribución granulométrica, el 88% del café analizado se retuvo en mallas superiores a la 16 (Figura 16).

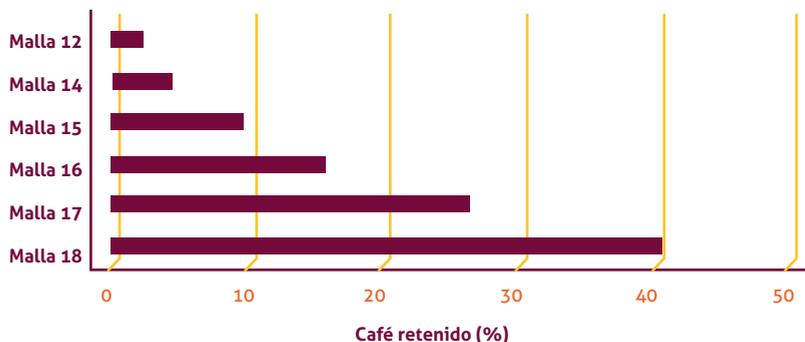


Figura 16. Distribución granulométrica del café almendra.

Resultados de la medición de la calidad química

El café es sin duda uno de los productos alimenticios más complejos desde el punto de vista de su composición química. No solo porque el grano verde contiene una amplia gama de diferentes compuestos químicos, sino porque estos compuestos reaccionan e interactúan en las diferentes etapas del procesamiento del café, generando una diversidad y complejidad de estructuras aún mayor (Clarke y Macrae, 1985).

Para las 562 muestras analizadas en la (Tabla 6) se presentan los valores obtenidos para ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos, sacarosa y trigonelina, por tecnología NIRS.

Tabla 6. Valores promedio, máximo y mínimo, obtenidos para los compuestos químicos del café del Huila.

| Variable | Valores Observados | | Promedio | Mediana |
|---------------------|--------------------|--------|----------|---------|
| | Mínimo | Máximo | | |
| Ácidos clorogénicos | 5,4 | 6,5 | 5,9 | 5,9 |
| Cafeína | 1,1 | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| Lípidos | 13,6 | 16,4 | 15,2 | 15,3 |
| Sacarosa | 6,0 | 7,1 | 6,5 | 6,5 |
| Trigonelina | 0,8 | 1,4 | 1,1 | 1,1 |

Resultados de la medición de la calidad sensorial

Las muestras fueron evaluadas con la escala de Almacafé, en la Tabla 7 se presenta la clasificación de acuerdo con el puntaje obtenido.

Tabla 7. Escala de valoración en el análisis sensorial utilizada en Almacafé.

| Calificación | Intervalos de valoración |
|--------------|--------------------------|
| Defectuoso | < 4,0 |
| Deficiente | 4,0 - 4,5 |
| Estándar | 5,0 - 5,5 |
| Bueno | 6,0 - 6,5 |
| Muy bueno | 7,0 - 7,5 |
| Excelente | 8,0 - 8,5 |
| Excepcional | 9,0 - 9,5 |
| Máximo | 10 |

Las cifras consolidadas de calidad sensorial indican que del total de muestras evaluadas el 79% no presentaron defecto. De los diferentes defectos de taza analizados (químico, fenol, fermento, *stinker*, vinagre, reposo, otros), los más recurrentes fueron: reposo, acre, inmaduro y fermento (Figura 17), relacionados con un inadecuado beneficio, manejo y almacenamiento del café.

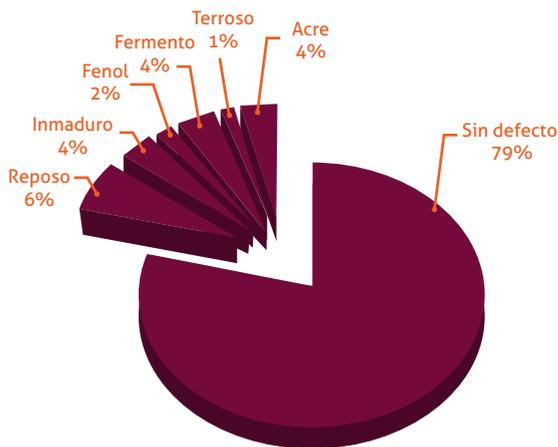


Figura 17. Distribución de las muestras según calidad sensorial.

De las muestras que no presentaron defecto, en promedio para todos los atributos, la calificación obtenida estuvo por encima de 5,0 puntos, que corresponde a una calificación de café estándar (Tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio, máximo, mínimo para los atributos que describen la calidad sensorial del departamento del Huila.

| Atributo | Promedio | Valor máximo | Valor mínimo |
|-------------------|----------|--------------|--------------|
| Fragancia y aroma | 5,22 | 8,00 | 4,00 |
| Acidez | 5,28 | 7,50 | 4,00 |
| Cuerpo | 5,09 | 7,50 | 4,00 |
| Impresión global | 5,33 | 7,50 | 4,50 |

Descriptorios sensoriales

A cada una de las muestras analizadas que no presentaron defecto, se le asignó un descriptor de la calidad sensorial, en la Tabla 9, se presenta la proporción de los descriptorios obtenidos por año de estudio, donde las notas dulce son el principal descriptor del café evaluado, seguido de notas cítricas, frutales, caramelo, floral, herbal, miel y avellanas.

Tabla 9. Proporción y representación gráfica de los de descriptorios de la calidad sensorial del café del Huila.

| Descriptor | Año | | | General |
|------------|-------|-------|-------|---------|
| | 2016 | 2017 | 2018 | |
| Dulce | 61,3% | 71,1% | 52,9% | 61,8% |
| Cítrica | 7,5% | 13,3% | 21,2% | 14,0% |
| Frutal | 7,5% | 2,4% | 3,5% | 4,5% |
| Caramelo | 6,3% | 6,0% | 11,8% | 8,0% |
| Floral | 6,3% | 2,4% | 2,4% | 3,7% |
| Herbal | 5,0% | 2,4% | 7,1% | 4,8% |
| Miel | 4,4% | 2,4% | 1,2% | 2,7% |
| Avellanas | 1,9% | 0,0% | 0,0% | 0,6% |



Denominación de Origen

La FNC en su Plan Estratégico 2008-2012 propuso posesionar el café de Colombia y su portafolio marcario, avanzando en la implementación de una estrategia de diferenciación de los cafés por su origen.

Esta estrategia, innovadora en términos científicos y técnicos, busca segmentar la oferta de café de acuerdo con los atributos físicos, químicos, sensoriales y culturales asociados a su origen regional, de manera que los cafés de Colombia se conviertan en un referente cultural y un activo intangible de gran valor en el mercado.

Esta iniciativa empezó en marzo de 2005, cuando el Gobierno Colombiano aprobó la solicitud de la FNC de reconocer la Denominación de Origen el "Café de Colombia". Adicionalmente, en septiembre de 2007, la Unión Europea otorgó la Indicación Geográfica Protegida al "Café de Colombia", después de una evaluación de la capacidad institucional y sistemas de control de la FNC; así como las características sociales y ambientales relacionadas al "Café de Colombia".

Para garantizar la sostenibilidad del Café de Colombia y sus regiones, se desarrollaron estudios técnicos con los cuales se logró que la Superintendencia de Industria y Comercio concedió la Denominación de Origen para las siguientes regiones cafeteras del país: Cauca (2011), Nariño (2011), Huila (2013), Santander (2014), Tolima (2015) y Café de la Sierra Nevada (Cesar, La Guajira y Magdalena) en el año 2015.



Literatura citada

Asociación de Cafés Especiales de America. (SCA). Protocols Cupping Specialty Coffee. Retrieved From [Http://Www.Scaa.Org/Pdf/Resources/Cupping-Protocols.Pdf](http://www.sca.org/Pdf/Resources/Cupping-Protocols.Pdf). 2015.

Caporaso, N.; Whitworth, M.; Grebby, S.; Fisk, I. (2018). Non-destructive Analysis of Sucrose, Caffeine and Trigonelline On Single Green Coffee Beans By Hyperspectral Imaging. *Food Research International* (106):193-203.

Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (1991). Fundamentos del Beneficio del Café. Chinchiná, Caldas, Página 236.

Clarke, R. J., Macrae, R. (1985). *Coffee* (Vol. 1). pp. 306

Clifford, M. N. (1985). Chlorogenic Acids. En *Coffee* (Pp. 153-202). Springer, Dordrecht.

Días R., Benassi M. (2015). Discrimination Between Arabica and Robusta Coffees Using Hydrosoluble Compounds: Is The Efficiency of The Parameters dependent On The Roast degree? *Beverages*. (1): 127-139.

Farah, A. (2012). *Coffee Constituents. Coffee Constituents, In Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention* (Ed y.-F. Chu), Wiley-Blackwell, Oxford, Uk

Franca, A. S., Mendonca, J. C. F., y Oliveira, S. D. (2005). Composition of Green and Roasted Coffees of Different Cup Qualities. *Food Science and Technology*. 38, 709–715.

ICONTEC. NTC 2324. (1987). Café Verde; Examen Olfativo y Visual y determinación de Materia Extraña y defectos. Bogotá (Colombia), Icontec-Cenicafé

ICONTEC. NTC 2758. (2002). Café. Análisis Sensorial. Vocabulario. Bogotá (Colombia).

ICONTEC. NTC 3314. (1992). Café y Sus Productos. Vocabulario. Términos y definiciones. Bogotá (Colombia)

Isaza G., L.E.; Montoya R., E.C.; Vélez Z., J.C.; Oliveros T., C.E. (2006). Evaluación de La Concentración de Frutos Maduros de Café Empleando Técnicas No Selectivas de Recolección Manual. *Cenicafé* 57(4): 274-278.

Marín L., S.M.; Arcila P., J.; Montoya R., E.C.; Oliveros T.; C.E. (2003). Relación Entre El Estado de Madurez del Fruto del Café y Las Características de Beneficio, Rendimiento y Calidad de La Bebida. *Cenicafé* 54(4):297-315.

Marín, C.; Puerta, G. I. (2008). Contenido de Ácidos Clorogénicos En Granos de *Coffea arabica* y *C. canephora*, Según El desarrollo del Fruto. *Cenicafé* (59): 7-28.

Montilla P., J.; Arcila P., J.; Aristizabal L., M.; Montoya R., C.; Puerta Q., G.I.; Oliveros T., C.E.; Cadena G. (2008). Caracterización de Algunas Propiedades Físicas y Factores de Conversión del Café durante el Proceso de Beneficio Húmedo Tradicional. *Cenicafé* 59 (2):120-142.

Oliveros T, C. E; Peñuela A.E. Jurado J. (2009). Controle la Humedad del Café en el Secado Solar, Utilizando el Método Gravimet. *Cenicafé. Avances Técnicos* 387.

Oliveros T, C. E; Roa M, G; Sanz U, J. R; Ramírez G, C. A; Álvarez H, J. R; Roa M, G; Álvarez G, J. (1995). El desmucilaginado Mecánico del Café. *Cenicafé. Avance Técnico* 216.

- Oliveros T, C. E; Sanz U, J. R; Ramírez G, C. A; Tibaduiza C. (2013). Ecomill®. Tecnología de Bajo Impacto Ambiental Para El Lavado del Café. Cenicafé. *Avance Técnico* 432.
- Pabón U., Sanz U, J. R.; Oliveros T, C. E. (2009). Manejo del Café desmucilaginado Mecánicamente. *Avances Técnicos* 388.
- Peñuela M A.E. (2010). Estudio de la Remoción del Mucílago de Café A Través de La Fermentación Natural. Tesis de Grado. 84p
- Peñuela M., A.E.; Pabón U., J.P; Sanz U., J.R. (2013). Método Fermaestro: Para determinar La Finalización de la Fermentación del Mucílago de Café. Cenicafé. *Avances Técnicos* 431.
- Peñuela M., A.E.; Sanz U., J.R.; Pabón U., J.P. (2012). Método Para Identificar El Momento Final de La Fermentación de Mucílago de Café. Cenicafé 63 (1): 120-131.
- Perrone, D.; Donangelo, C.; Farah, A. (2008). Fast Simultaneous Analysis of Caffeine, Trigonelline, Nicotinic Acid and Sucrose In Coffee By Liquid Chromatography-Mass Spectrometry. *Food Chemistry*, 110(4): 1030-1035.
- Puerta Q, G.I. (2011). Composición Química de Una Taza de Café. Cenicafé. *Avances Técnicos* 414: 1-12.
- Puerta Q., G.I. (2000). Influencia de Los Granos de Café Cosechados Verdes, En La Calidad Física y Organoléptica de La Bebida. Cenicafé 51(2): 136-150.
- Puerta Q., G.I. (2001). Cómo Garantizar la Buena Calidad de la bebida del Café y evitar los defectos. Cenicafé. *Avances Técnico* 284.
- Puerta Q, G.I. (2006). La Humedad Controlada del Grano Preserva La Calidad del Café. Cenicafé. *Avances Técnicos* 352.
- Puerta Q, G.I. (2010). Fundamentos del Proceso de Fermentación En El Beneficio del Café. Cenicafé. *Avances Técnico* 402.
- Puerta Q, G.I; Echeverry M., J.G. (2015). Fermentación Controlada del Café: Tecnología Para Agregar Valor A La Calidad. Cenicafé. *Avances Técnico* 454.
- Roa M., G.; Oliveros T., C.E.; Álvarez, J.; Ramírez G, C. A.; Sanz U., J.R.; Dávila, M.T.; Álvarez, J.; Zambrano, D.A.; Puerta Q, G.I.; Rodríguez, N. (1999). Beneficio Ecológico del Café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 300 P.
- Roa M., G.; Oliveros T., C.E.; Parra C., A.; Ramírez G, C. A. (2000). El Secado Mecánico del Café. *Avances Técnicos* 282.
- Wallis G., J.A.; Montoya R., Vélez Z., J. C.; Oliveros T., C.E. (2004). Calidad y Eficacia de Dos Métodos No Selectivos de Recolección Manual de Café (*Coffea arabica*). Cenicafé 55 (1): 45-51.
- Workua M., Meulenaerb B., Duchateauc L., Boeckxd P. (2018). Effect of Altitude On Biochemical Composition and Quality of Green Arabica Coffee Beans Can Be Affected By Shade and Postharvest Processing Method. *Food Research International*. 105: 278-285.
- Zambrano F, D. A. (1993). Fermente y Lave Su Café En El Tanque Tina. Cenicafé. *Avance Técnico* 197.

Ciencia y Tecnología
para *el café*
del **Huila**



2015-2019

ISBN - 978-958-8490-39-7