

**2015
2021**



Ciencia y Tecnología
para *el café*
del **Huila**



2015-2021

**Aplicación de ciencia,
tecnología e innovación en el**

cultivo del café

**ajustado a las condiciones
particulares del**

HUILA



TOMO II



Comité de Cafeteros del Huila

Comité Nacional

José Manuel Restrepo Abondano
Ministro de Hacienda y Crédito Público

Rodolfo Enrique Zea Navarro
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

María Ximena Lombana Villalba
Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Luis Alberto Rodríguez Ospino
Director del Departamento Nacional de Planeación

Marcela Urueña Gómez
Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Período 1° enero/2019 - 31 diciembre/2022

José Eliecer Sierra Tejada (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Daniilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Luis Javier Trujillo Buitrago (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Roberto Vélez Vallejo
Gerente General

Juan Camilo Becerra Botero
Gerente Administrativo Y Financiero

Juan Camilo Ramos Mejía
Gerente Comercial

Hernando Duque Orrego
Gerente Técnico

Álvaro León Gaitán Bustamante
Director Investigación Científica y Tecnológica

Comité Editorial

Pablo Benavides M.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, 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

Luis Fernando Salazar G.
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

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

Sandra Milena Marín L.
**M.Sc., Esp., Ing. Agrónoma
Dilvulgación y Transferencia, Cenicafé**

Diseño y diagramación
Paula Andrea Marroquín Bonilla

Fotografías
Archivo Cenicafé

Impreso por

2021

Gobernacion del Huila

Luis Enrique Dussán López - **Gobernador del Huila**

Carlos Cuellar Medina - **Director Departamento Administrativo de Planeación**

Dilberto Trujillo Dussan - **Secretario de Agricultura y Minería**

Jesús Albeiro Caicedo Rincón - **Interventor**



Como citar:

Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.). (2021). *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila*. Vol. 2. 2015-2021. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0008>





Agradecimientos

Caracterización de accesiones de la Colección Colombiana de Café por su comportamiento agronómico, nivel de adaptación y resistencia/tolerancia a factores bióticos propios de la región.

Los autores expresan agradecimientos especiales a:

- Los caficultores y sus familias que con su dedicación, entrega y acompañamiento hicieron posible el desarrollo de esta investigación.
- Fernando Córdoba, Wilbert Cruz, Personal de Acciones y Servicios, Zulma Nancy Gil P., Rubén D. Medina R., Luis C. Imbachí Q., Esther C. Montoya, Jhon J. Cuellar V., Panel de Catación de Cenicafé, Comité de Cafeteros del Huila, Fernando Rincón, Luis E. Cortes, Carlos E. Maldonado L., Jhon E. Quintero A., Carlos A. Vera, Ricardo Acuña, Claudia P. Valencia V., Mario Franco A., Diana M. Buitrago R., Cindy Salazar V., Valentina Sepúlveda C., Astrid Ortiz, Juan C. García L., Ninibeth Sarmiento H. y Carolina Ramírez C.

Evaluación regional de nuevas líneas mejoradas de café para conformar variedad regional para la caficultura del Huila.

Los autores expresan agradecimientos especiales a:

- Los caficultores y sus familias que con su dedicación, entrega y acompañamiento hicieron posible el desarrollo de esta investigación.
- Ligia Cleves, Ismael Perdomo, Héctor Guevara, Pedro Santofimio, Óscar Molina, Personal de Acciones y Servicios, Zulma Nancy Gil P., Rubén D. Medina R., Luis C. Imbachí Q., Esther C. Montoya, Jhon J. Cuellar V., Panel de Catación de Cenicafé, Comité de Cafeteros del Huila, Fernando Rincón, Luis E. Cortés, Jhon E. Quintero A., Carlos A. Vera, Ricardo Acuña Z, Claudia P. Valencia V., Mario Franco A., Diana M. Buitrago R., Cindy Salazar V., Valentina Sepúlveda C., Astrid Ortiz, Juan C. García L., Ninibeth Sarmiento H. y Carolina Ramírez C.

Densidades de siembra en sistemas de producción de café a libre exposición solar y SAF en el departamento del Huila

Los autores expresan agradecimientos especiales a:

- Los caficultores que hicieron posible establecer los sistemas de producción en sus predios: María Mabel Castro Oviedo, Gerardo Collazos, Nubia Muñoz Díaz, Cristóbal Argote Muñoz, Héctor William Gómez López, Nelson Trujillo Zuleta, Rafael Garzón Muñoz, César Mauricio Figueroa Parra, Josafat Cuellar Núñez, Bernardo Muñoz Mamian, Arles Collazos Molina, Baldomero Osorio Cuenca y Marco Fidel Suarez Galindo. Al Comité de Cafeteros del Huila, a la Gobernación del Huila, a los Asistentes, Auxiliares de Investigación y Analistas que acompañaron las diferentes etapas del proyecto, así como a los operarios de labores agrícolas de la empresa Acciones y Servicios SAS.



Luis Enrique Dussán López
Gobernador del Huila





Investigación y productividad cafetera

Para nuestro gobierno es una prioridad aportar al fortalecimiento de sector agropecuario, en particular la producción cafetera, como eje de desarrollo económico rural, incentivando la modernización y la competitividad, basados en procesos de investigación, que permiten incrementar la eficiencia en la producción y el mejoramiento de las condiciones de vida del cafetero y su familia.

El gobierno departamental ha realizado un importante aporte económico al desarrollo de la presente investigación, permitiendo a la región seguir liderando los procesos productivos, tanto en calidad como en cantidad, mediante la consideración de factores de climáticos y técnicos que inciden en la caficultura del Huila.

Ser líderes a nivel nacional e internacional en la producción de cafés especiales, hace que nuestro compromiso con el sector gire en torno a la sostenibilidad económica, social y ambiental, permitiendo que nuestras más de 83.000 familias cafeteras sean impactadas positivamente con los resultados presentados por la presente investigación y continúen con el liderazgo ya reconocido a nivel nacional y mundial.

Las recomendaciones técnicas obtenidas y entregadas al sector cafetero del Departamento, mediante la investigación realizada, permitirán la reducción de costos de producción y el mejoramiento de la rentabilidad del sector cafetero del Huila, esperando con ello aportar de manera directa en el fortalecimiento de este sector que ha llenado de orgullo nuestra tierra de promisión.



TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	5
Introducción	10
1. Caracterización de accesiones de la Colección Colombiana de Café Comportamiento agronómico, nivel de adaptación y resistencia/tolerancia a factores bióticos propios de la región.	12
• Introducción	14
• Metodología	16
• Resultados	20
• Caracterización de las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en La Argentina (Huila)	26
• Caracterización de las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en Campoalegre (Huila)	28
• Relaciones entre las variables de crecimiento vegetativo, intercambio de gases, vigor, clorofila, interceptación de la radiación y crecimiento reproductivo	29
• Conclusiones	35
• Literatura citada	36
• Material suplementario	38
2. Evaluación regional de nuevas líneas mejoradas de café para conformar una variedad regional para la caficultura del Huila.	48
• Introducción	51
• Metodología	55
• Resultados	59
• Conclusiones	68
• Literatura citada	69
3. Densidades de siembra en sistemas de producción de café a libre exposición solar en el departamento del Huila.	70
• Introducción	72
• Metodología para la evaluación de las densidades de siembra en los sistemas de producción establecidos a libre exposición solar	75
• Respuesta de los sistemas de producción de café al incremento de la densidad de siembra	85
• Recomendaciones para el manejo agronómico de los sistemas de producción a libre exposición solar	93
• Literatura citada	95
4. La caficultura bajo sombra para el departamento de Huila.	96
• Introducción	99
• Sitio de establecimiento del cultivo	101
• Variedad de café a establecer	106
• Material de siembra - álmacigos de café	106
• Densidad de siembra del café bajo sombrío	107
• Ciclo de producción o renovación del cultivo	110
• Época para la renovación del cultivo	111
• Luminosidad	112
• Nutrición del cultivo del café bajo sombrío	120
• Consideraciones finales	120
• Literatura citada	122



INTRODUCCIÓN

El actual reto de la caficultura está enfocado en la recuperación, estabilización e incremento de la producción y la productividad de los cafetales, en un esquema de sostenibilidad y calidad. Bajo esta consideración, el conocimiento regional de los factores agroecológicos, geográficos y de clima contribuirá a centrar las recomendaciones tecnológicas para el manejo del cultivo y a la identificación de las fortalezas y vulnerabilidades de cada una de las zonas cafeteras del país. De esta manera, en el departamento del Huila, se realizó el proyecto “Aplicación de Ciencia, Tecnología e Innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila”. Esta iniciativa fue financiada con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías – Gobernación del Huila y de la Federación Nacional de Cafeteros, y fue ejecutada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila. Con este proyecto se están beneficiando más de 82.000 familias cafeteras, con cobertura en 35 municipios, los cuales hoy cuentan con la información y tecnologías apropiadas que les permitirán fortalecer los procesos de producción del grano.

El proyecto tuvo una vigencia de seis años de investigación en el campo (2015- 2021), distribuida en dos fases. Durante este tiempo, se desarrollaron nueve investigaciones enmarcadas en el enfoque de la estrategia de la FNC “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”. Cada investigación contribuyó desde sus objetivos, a identificar las principales amenazas y el grado de vulnerabilidad frente a la variabilidad climática de los sistemas productivos de café y, a partir de los resultados, se establecieron las recomendaciones para ajustar el modelo productivo de la caficultura del departamento del Huila.

Los resultados de la primera fase (2015-2019) se visibilizaron en el primer tomo del libro “Aplicación de Ciencia, Tecnología e Innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila”. En el cual se identificaron seis zonas agroecológicas que representan la caficultura del Huila, se fortaleció la red climática del departamento a través de la puesta en marcha de diez estaciones climatológicas automatizadas, que permitieron monitorear en tiempo real las condiciones climáticas propias del entorno productivo del departamento. Se generaron sistemas de alertas tempranas para problemas fitosanitarios como la broca y la chinche de la chamusquina del café. Además, se incluyeron estudios epidemiológicos y de manejo integrado de la roya del cafeto y de la muerte descendente. Se caracterizaron física y químicamente los suelos cafeteros del Huila a través del análisis de más de 7.000 muestras y, paralelamente, se entregó un estudio sobre la biodiversidad de micorrizas arbusculares propias de los suelos del departamento. Se generaron estrategias que contribuyen al aseguramiento de la calidad sensorial del café del Huila.

En la segunda fase del proyecto (2019-2021) se dio continuidad a tres investigaciones, cuyos resultados están descritos en el presente libro. En esta

entrega se describen los logros alcanzados en la caracterización morfológica, agronómica y fisiológica, en dos ambientes contrastantes de la caficultura, de 50 accesiones de la Colección Colombiana de Café, que representan la diversidad que está disponible para el desarrollo de variedades de *Coffea arabica*, y que se denomina Colección Núcleo. Se identificaron accesiones etíopes silvestres que se destacan por su buen comportamiento bajo las condiciones experimentales evaluadas, con altos niveles productivos, perfiles sensoriales diferenciales, con potencial para ser incluidas dentro del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé como progenitores de futuras variedades mejoradas. Fruto de las investigaciones realizadas durante la vigencia del proyecto, se seleccionaron 13 líneas mejoradas, resistentes a la roya, con excelentes características agronómicas, calidad física del grano y calidad en taza catalogada como especial, que pueden entrar a conformar las variedades comerciales vigentes. Así mismo, se establecen las recomendaciones para aquellos municipios cafeteros del departamento del Huila donde es necesario realizar el ajuste del sistema de producción, lo que significa cambiar de una caficultura a libre exposición solar a una caficultura bajo sombra. Finalmente, se evidencia cómo la implementación del número de plantas por hectárea ajustado a las condiciones propias del sistema productivo, así como la adopción de las prácticas de manejo agronómico adecuadas tienen un efecto marcado sobre la productividad y, por ende, sobre la rentabilidad del negocio cafetero.

Los resultados generados en este proyecto, se lograron gracias al gran compromiso y apoyo de los Investigadores de Cenicafé, quienes con su conocimiento lideraron cada una de las investigaciones y son los autores, junto con su equipo de trabajo, de cada uno de los once capítulos que se compilaron en los tomos I y II de este libro; al apoyo del Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros de Huila; a los primeros actores y los más importantes, “los caficultores”, los cuales con su entusiasmo y compromiso, apoyaron y aportaron sus predios para realizar la fase experimental en el campo, sin ellos, no hubiera sido posible llegar a feliz término; al Comité Departamental y Comités Municipales de Cafeteros del Huila, quienes creyeron en este proyecto; a la Gobernación del Departamento del Huila, que a través de cada una de las administraciones viabilizaron los recursos por medio del Sistema General de Regalías; a los colaboradores de Acción Plus que apoyaron las labores en el campo; y finalmente, aquellos que, directa o indirectamente, contribuyeron para la ejecución de este proyecto, a todos ellos nuestros agradecimientos.

Zulma Nancy Gil Palacio

Investigador Científico II

Disciplina de Entomología, Cenicafé

Directora del proyecto



1



Caracterización de accesiones de la Colección Colombiana de Café.

**Comportamiento agronómico, nivel de adaptación y resistencia/
tolerancia a factores bióticos propios de la región**

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



Jiménez-Sosa, M., Unigarro - Muñoz, C. A., Abella-Díaz, M., Piamba, M. A., López-Monsalve, L., Ramírez - Cardona, C.A., Ortiz, A., Arias - Suárez, J. C., & Flórez, C. P. (2021). Caracterización de accesiones de la Colección Colombiana de Café. Comportamiento agronómico, nivel de adaptación y resistencia/tolerancia a factores bióticos propios de la región. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila*: Vol. 2. 2015-2021. (pp. 12–47). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0008_1



Mauricio Jiménez Sosa

*Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0001-5378-840X>

Manuel A. Piamba

*Auxiliar de Investigación
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0001-7557-4517>

Carlos A. Unigarro Muñoz

*Investigador Científico I
Disciplina de Fisiología*

<https://orcid.org/0000-0002-7344-3211>

Luísa F. López Monsalve

*Asistente de Investigación
Disciplina de Fisiología*

<https://orcid.org/0000-0002-9534-0053>

Marlio F. Abella Díaz

*Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0001-5561-4913>

Carlos A. Ramírez Cardona

*Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0003-4119-2806>

Aristófeles Ortiz

*Investigador Científico I
Disciplina de Fisiología*

<https://orcid.org/0000-0002-3242-1948>

Juan C. Arias Suárez

*Investigador Científico I
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0002-5004-2423>

Claudia P. Flórez Ramos

*Investigador Científico III
Disciplina de Mejoramiento*

<https://orcid.org/0000-0003-2859-3496>

INTRODUCCIÓN

Los recursos genéticos desempeñan un papel fundamental para el mejoramiento, debido a que son la fuente de diversidad que permite el desarrollo de variedades mejoradas con las cuales se puede dar solución a problemáticas actuales y potenciales de las especies cultivadas. Para el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) (Rubiaceae), los productores colombianos cuentan con el Programa de Mejoramiento Genético en Cenicafé, el cual soporta su trabajo en el banco de germoplasma de café, denominado "Colección Colombiana de Café" (CCC). Actualmente, la CCC está conformada por 1.031 accesiones que, sin duda, constituyen uno de los activos más valiosos de los caficultores colombianos, pues contiene toda la diversidad genética disponible para el desarrollo de nuevas variedades de café resistentes a factores bióticos (plagas/enfermedades) o abióticos (condiciones ambientales), que puedan constituir un riesgo a futuro para la caficultura colombiana.

Las colecciones de germoplasma bien representadas poseen en términos generales un gran número de accesiones, lo cual incrementa la posibilidad de hallar características de interés para el programa de mejoramiento. Sin embargo, este hecho dificulta su caracterización y evaluación, las cuales definen su uso para la obtención de variedades mejoradas. Es así, como se introdujo el concepto de Colección Núcleo, la cual está constituida por un número reducido y representativo de accesiones, que contiene gran parte de la diversidad del banco de germoplasma (Frankel, 1984), lo cual permite la utilización eficiente de los recursos genéticos conservados y optimizan la oportunidad de identificar características de interés, al limitar la evaluación a un grupo de genotipos genéticamente contrastantes.

Dada sus ventajas, se conformó la colección núcleo de la CCC, teniendo presente la información fenotípica, genotípica y de pasaporte



disponible, producto de las evaluaciones realizadas por Cenicafé, desde la introducción de los genotipos a Colombia. De esta manera, se seleccionaron 50 accesiones representantes de la diversidad existente en el banco de germoplasma, para la conformación de la Colección Núcleo de Café. El 84% de las introducciones seleccionadas son de procedencia etíope, en mayor proporción resultado de las recolecciones realizadas por la FAO y ORSTOM, entre 1964 y 1966 en Etiopía (Meyer et al., 1968; Guillaumet & Halle, 1978). Las demás corresponden a variedades seleccionadas en África y América, y dos especies diploides usadas comercialmente (*Coffea canephora* L. y *Coffea liberica* Hiern).

En la producción de café intervienen distintos procesos, que van desde la fotosíntesis con influencia sobre la relación fuente-vertedero (Franck et al., 2006; Vaast et al., 2005), la evapotranspiración de agua (Franck & Vaast, 2009), la acumulación de la materia seca (Bote et al., 2018), hasta los componentes de la productividad asociados con el crecimiento vegetativo como el número de cruces y el uso eficiente de la radiación (Bote et al., 2018). Por otra parte, la producción a través del tiempo difiere según la expresión fenológica de la floración, la cual es afectada por factores abióticos como la precipitación, temperatura, humedad y fotoperiodicidad, así como la genética y la competencia intraespecífica e interespecífica por los recursos (Bawa et al., 2003; Elzinga et al., 2007; Sakai, 2001). En el presente estudio se analizan estos componentes con el objetivo de dar una visión completa de las características que pueden ser de utilidad para la selección de futuros progenitores de variedades con características específicas en términos de adaptación, tolerancia/resistencia a factores bióticos, perfiles de calidad sensorial diferenciales y alta productividad, entre otras características de interés para el Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé.





Metodología

Localización y material vegetal

La investigación se realizó en los municipios de La Argentina (2°10'47,26"N, 76° 2'21,61"W, 1.800 m de altitud) y Campoalegre (2°34'0,32"N, 75°19'35,22"W, 1.400 m de altitud) en el departamento del Huila (Colombia). En el municipio de La Argentina, la temperatura media anual fue de 18,2°C, brillo solar promedio de 1.445 horas luz al año y precipitación media anual de 1.636 mm, mientras que Campoalegre presentó una temperatura media anual de 21,9°C, brillo solar de 1.407 horas luz al año y precipitación media anual de 1.098 mm. En cada localidad se evaluaron las 50 accesiones, que constituyen la Colección Núcleo de Café, que representa la diversidad que para *C. arabica* está conservada en la CCC.

En cada localidad y para cada accesión evaluada se estableció una parcela de 40 plantas, a una distancia entre surcos de 1,7 m y entre plantas de 1,2 m (área efectiva por planta 2,04 m²). En cada parcela se seleccionaron y marcaron los 16 árboles centrales, los cuales se consideraron como árboles efectivos. El manejo agronómico del lote experimental se llevó a cabo de acuerdo con las recomendaciones de Cenicafé.

Evaluación de variables de crecimiento

Una vez las plantas alcanzaron un año de establecidas en el campo, se inició la evaluación de crecimiento. Cada tres meses y durante 1,5 años se registraron las siguientes variables: longitud del tallo (cm), diámetro de copa, tomada en la cruz de mayor longitud y en el sentido de los surcos, número de cruces (cm) y diámetro de tallo (cm, tomado a 15 cm del suelo).

Las tasas medias de crecimiento absoluto (\bar{G}) para longitud del tallo (\bar{G}_{SH} ; cm/mes), diámetro de tallo (\bar{G}_{SD} ; cm/mes), diámetro de la copa (\bar{G}_{DC} ; cm/mes) [c] y número de cruces (\bar{G}_{CT} ; cruz/mes) se calcularon según la Ecuación <1> (Hunt, 1990), utilizando las mediciones de altura del tallo, diámetro del tallo, diámetro de la copa y número de cruces, registradas en abril y noviembre de cada año.

$$\bar{G} = (V_2 - V_1) / (t_2 - t_1) \text{ <1>}$$

Donde:

\bar{G} : es la tasa media de crecimiento absoluto.

V_i es el valor de la variable en el tiempo t_i .

Evaluación fisiológica

Se seleccionaron aleatoriamente tres árboles efectivos por accesión y se registraron las variables: tasa de asimilación neta de carbono, conductancia estomática, uso

eficiente del agua (UEA), resistencia estomática, índice de vegetación normalizado (NDVI), contenido relativo de clorofila (SPAD) e interceptación de la radiación (IntRad).

Las mediciones de intercambio gaseoso se hicieron en la hoja (sana y completamente expandida), del tercer o cuarto nudo, contado a partir del ápice de la rama plagiotrópica ubicada en el tercio medio de las plantas, para tres árboles por cada accesión.

Se utilizó un analizador de gases infrarrojo de sistema abierto CIRAS-3 (PP Systems, MA) (Figura 1a) para medir la tasa de asimilación neta de carbono (An ; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conductancia estomática al vapor de agua (gs ; $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y el uso eficiente del agua (UEA; $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$), entre las 07:00 h y 11:00 h, bajo una concentración de $390 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, una temperatura foliar constante de 25°C y una irradianza saturante de $1.000 \mu\text{mol fotonos m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ suministrada por una fuente de luz LED RGBW (*Light Control*, PP Systems, MA) anexa al equipo. Por cada accesión, los parámetros fisiológicos An , gs y UEA, fueron computados como el valor promedio de las mediciones.

Las mediciones del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) se realizaron en las 16 plantas efectivas por accesión, utilizando el sensor GreenSeeker (Trimble Inc, Sunnyvale) (Figura 1b), el cual registra valores de NDVI entre 0,00 a 0,99, los valores mayores a 0,70 son un indicativo de plantas con buen vigor (Gutiérrez-Soto et al., 2011). Paralelamente, en las mismas plantas donde se midió el NDVI también se realizaron las mediciones del índice de contenido relativo de clorofila (SPAD). Este se registró en una hoja del tercer o cuarto nudo contado a partir del ápice de la rama plagiotrópica ubicada en el tercio medio de las plantas, usando el clorofilómetro portátil SPAD-502 Plus (Konica Minolta, Inc., US) (Figura 1c). El índice SPAD toma valores entre -9,9 a 199,9 y tiene una correlación positiva con el contenido de clorofila de la hoja (Cunha et al., 2015). Tanto las mediciones del NDVI como del SPAD se realizaron entre las 10:00 h y 13:00 h.

La variable interceptación de la radiación (IntRad) se estimó con las lecturas simultáneas de radiación fotosintéticamente activa (PAR), medidas con un ceptómetro Sunscan Canopy (Delta-T, UK) (Figura 1d) debajo del cultivo, y un sensor de referencia BF5 (Delta-T, UK) sobre el cultivo (sin exposición a ninguna sombra), entre las 10:00 h y 13:00 h. El ceptómetro se posicionó horizontalmente bajo cada árbol efectivo, manteniéndolo paralelo al borde del surco. La IntRad para tres árboles por accesión, se calculó con la Ecuación <2>. En cada accesión la IntRad fue computada como el valor promedio de las lecturas por árbol efectivo. Las mediciones de la IntRad se realizaron entre mayo y junio, con el fin de evitar la posible pérdida de hojas por acción del proceso de recolección de frutos.

$$\text{IntRad} = 1 - \frac{\text{PAR}_{\text{abajo}}}{\text{PAR}_{\text{arriba}}} \quad <2>$$

Donde:

$\text{PAR}_{\text{arriba}}$: total de la PAR incidente arriba del dosel.

$\text{PAR}_{\text{abajo}}$: PAR incidente abajo del dosel.

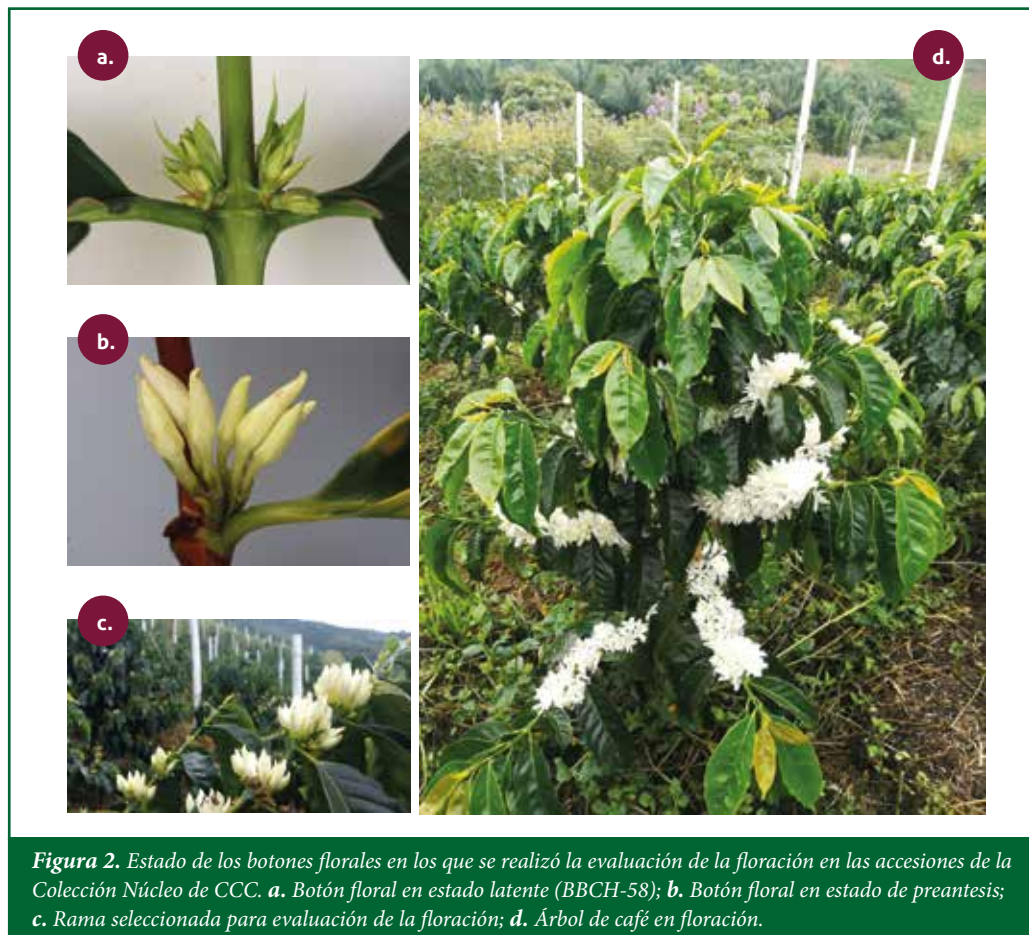


Figura 1. Equipos usados en las evaluaciones de: **a.** Intercambio gaseoso (CIRAS-3); **b.** NDVI (GreenSeeker); **c.** SPAD (SPAD-502 Plus; **d.** Intercepción de la radiación (Sunscan Canopy).

Evaluación de floración y producción

La floración se registró durante 20 meses (junio 2017 – febrero 2019), en cada una de las plantas efectivas de cada accesión evaluada. Para ello, se seleccionaron y marcaron cuatro ramas plagiotrópicas del tercio productivo, representando los cuatro puntos cardinales, una semana antes de iniciar el semestre floral. Las ramas seleccionadas, tenían botones florales en estado latente (BBCH-58) (Arcila et al., 2002). Una vez los botones florales alcanzaron el estado de preantesis (Estado BBCH-59) (Figura 2), fueron contados por planta (i) y semana t (x_{it}) hasta el final del semestre floral, siguiendo la metodología establecida por Rendón et al. (2008). Se evaluaron las siguientes variables relacionadas con la fenología de la floración del café: sincronía floral media entre individuos (r_i), coeficiente de variación a nivel individual (CV_i), coeficiente de variación a nivel poblacional (CV_p) y número de eventos florales a nivel de población (Eventos), los cuales se calcularon a partir de los registros semanales de botones florales a nivel de planta. La r_i se estimó como el promedio de todas las correlaciones de Pearson por pares del número de botones florales por semana (x_{it}), de todas las plantas dentro de la población (Koenig et al., 2003). La CV_i se estimó con el coeficiente de variación a nivel individual (desviación estándar/media), el cual se calculó con el promedio de los coeficientes de variación individuales, obtenidos del número de botones florales por individuo y semana (x_{it}) sobre las n semanas del semestre de floración, para todos los

individuos dentro de la población, mientras que el CVp se calculó como el coeficiente de variación del número total de botones florales por semana (x_t) para cada accesión (Koenig et al., 2003). La variable Eventos se calculó como el número de semanas n del semestre floral cuando la accesión presentó al menos un botón floral.



Una vez las plantas alcanzaron su desarrollo reproductivo, se registró la producción de café cereza por pase de cosecha, parcela y planta efectiva (Produ.) de todas las accesiones evaluadas hasta la tercera cosecha.

La comparación entre los municipios para las 16 variables evaluadas se realizó mediante la prueba t-Student al 5% de significancia. En el caso de las accesiones por cada municipio se clasificaron según su diferencia con respecto a la media general de cada variable, usando como criterio la desviación estándar, así: las accesiones con valores superiores a la media más una desviación estándar se clasificaron como mayores (+), mientras que, las accesiones clasificadas menores (-) presentaron valores inferiores a la media menos una desviación estándar. Las relaciones entre las variables se evaluaron con el coeficiente de correlación de Spearman (r_{sp}) utilizando los valores obtenidos por cada accesión, la significancia de los coeficientes r_{sp} se probó con la prueba t, al 1% y 5% de significancia. Los análisis estadísticos se realizaron con los procedimientos Base SAS® y SAS/STAT® del software SAS® (versión 9.3).

Caracterización de calidad en taza

En el pase pico de la primera-segunda cosecha se tomó una muestra de 3 a 6 kg de café cereza por parcela (accesión), que estuvieran en estado 5-6 de maduración, de acuerdo con la carta de color recomendada por Cenicafé (2020). Seguidamente, se benefició la muestra por vía húmeda, se fermentó enzimáticamente (10 kg café despulpado: zymucil 1 cc /100 mL de agua) y se secó al sol. Una vez las muestras alcanzaron una la humedad entre el 10%-12%, se enviaron 500 g de c.p.s., a Cenicafé (Manizales, Caldas), la muestra se trilló y, posteriormente, se entregaron al Panel de Catación 300 g de café almendra de cada muestra, para el análisis sensorial de diez atributos organolépticos, de acuerdo con el protocolo establecido por la SCA (*Specialty Coffee Association*). Cada valor, de cada atributo, corresponde al promedio de mínimo tres catadores con certificación Q-Grader. Para establecer el rango de calidad de la taza, se sumó el puntaje individual de los diez atributos, obteniendo el puntaje total; se clasificaron como especiales todas las muestras con un puntaje total superior a 80 y dentro de los cafés especiales se clasificó como muy bueno aquellas muestras que obtuvieron entre 80,00-83,99 y excelentes >84,00 puntos SCA.

Evaluación frente a factores bióticos propios de la región

En la rama con mayor número de hojas se registró el total de hojas y aquellas con daños ocasionadas por el minador de las hojas del café *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville & Perrottet, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) y la arañita roja *Oligonychus yothersi* McGregor (Acari: Tetranychidae). En el mismo árbol se registró el número total de puntos con crecimiento ortotrópico y plagiotrópico del tercio superior del árbol y aquellos que presentaron daños ocasionados por la chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezungeli* Carvalho & Costa (Hemiptera: Miridae) y muerte descendente ocasionada por *Phoma* spp. Con la información registrada, para cada evaluación y lote, se estimó el porcentaje de infestación de las plagas, y el porcentaje de infección para el caso de las enfermedades evaluadas. Se realizaron dos evaluaciones del estado fitosanitario de cada una de las accesiones de la Colección Núcleo, establecidas en las dos localidades. Estas evaluaciones se realizaron en marzo de 2019 y marzo de 2021, años clasificados como El Niño y La Niña, respectivamente.

Resultados

Crecimiento vegetativo

Al comparar las tasas de crecimiento absoluto (\bar{G}) en las dos localidades evaluadas, no se encontraron diferencias, los árboles presentaron un crecimiento ortotrópico y plagiotrópico en promedio de 5 cm/mes (altura de la planta y diámetro de copa) y formaron 0,8 cruces por mes (Figura 3). El diámetro de tallo mostró un crecimiento estadísticamente mayor ($p < 0,05$) en el municipio de La Argentina con respecto a Campoalegre, lo cual significa que las condiciones de La Argentina favorecieron el crecimiento del diámetro del tallo en un 23% (Figura 3).

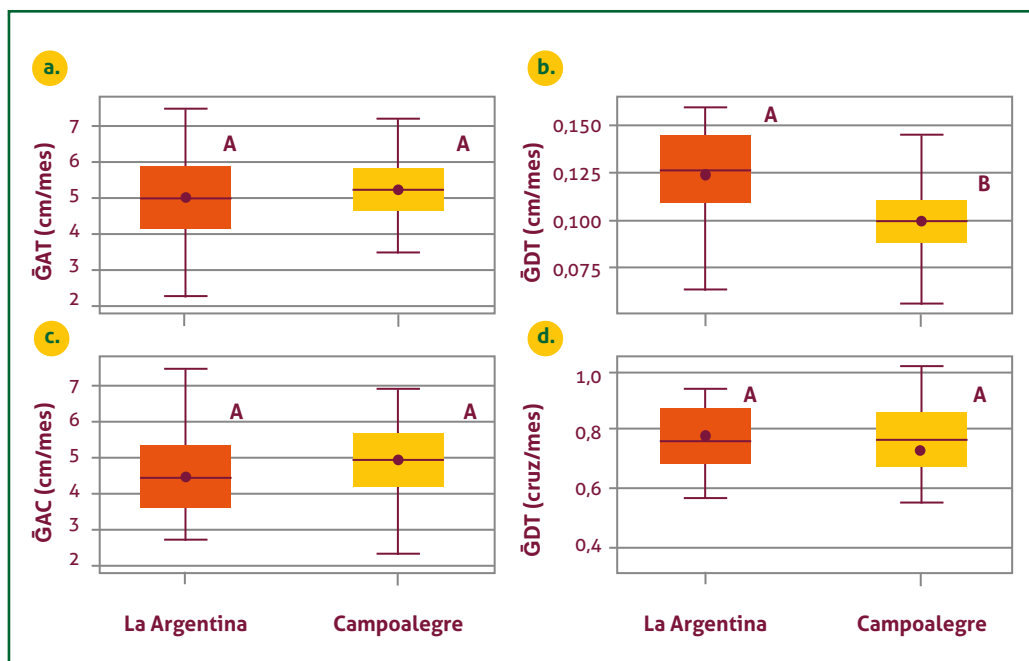


Figura 3. Comparación entre las tasas absolutas (\bar{G}) de las variables de crecimiento evaluadas en las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en los municipios de La Argentina y Campoalegre (Huila, Colombia). **a.** Tasa absoluta de crecimiento en altura del tallo ($\bar{G}AT$); **b.** Tasa absoluta de crecimiento en diámetro del tallo ($\bar{G}DT$); **c.** Tasa absoluta de crecimiento en diámetro de la copa ($\bar{G}DC$); **d.** Tasa absoluta de crecimiento en número de cruces del tallo ($\bar{G}CT$). En recuadro b. Letras diferentes en mayúscula indican diferencias significativas entre las localidades usando la prueba de t-Student ($\alpha=0,05$).

Variables fisiológicas

Para las variables fisiológicas evaluadas se observó un comportamiento diferencial en las accesiones establecidas en las dos localidades. Es así como Campoalegre favorece una mayor fotosíntesis (A_n), uso eficiente del agua (UEA) y vigor (NDVI), que La Argentina ($p < 0,05$) (Figura 4 a, c, d). Mientras que para las variables contenido relativo de clorofila (SPAD) e interceptación de la radiación (IntRad) se observaron valores mayores en La Argentina que en Campoalegre ($p < 0,05$) (Figuras 4e, 4f). La conductancia estomática (g_s) no mostró diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las dos localidades evaluadas (Figura 4b).

La menor disponibilidad lumínica, debido a que en el momento de la evaluación el cultivo estaba bajo un sombrío transitorio de *Tephrosia*, fue la razón por la cual la fotosíntesis (A_n) en La Argentina presentó un menor valor (29%) con respecto a Campoalegre (Figura 4a), esto debido a que existe una relación directa entre la máxima tasa fotosintética que pueden alcanzar las hojas de café y el nivel de luminosidad bajo el cual crecieron y/o se adaptaron (Franck & Vaast, 2009). En este sentido, el mayor número de unidades SPAD (10%) registrado en La Argentina (Figura 4e) también fue resultado de la disponibilidad lumínica, puesto que las hojas aclimatadas a una menor cantidad de luz lograron mayores contenidos de clorofila (medida indirectamente por las unidades SPAD), dada la necesidad de las hojas de café por capturar más luz (Matos et al., 2009).

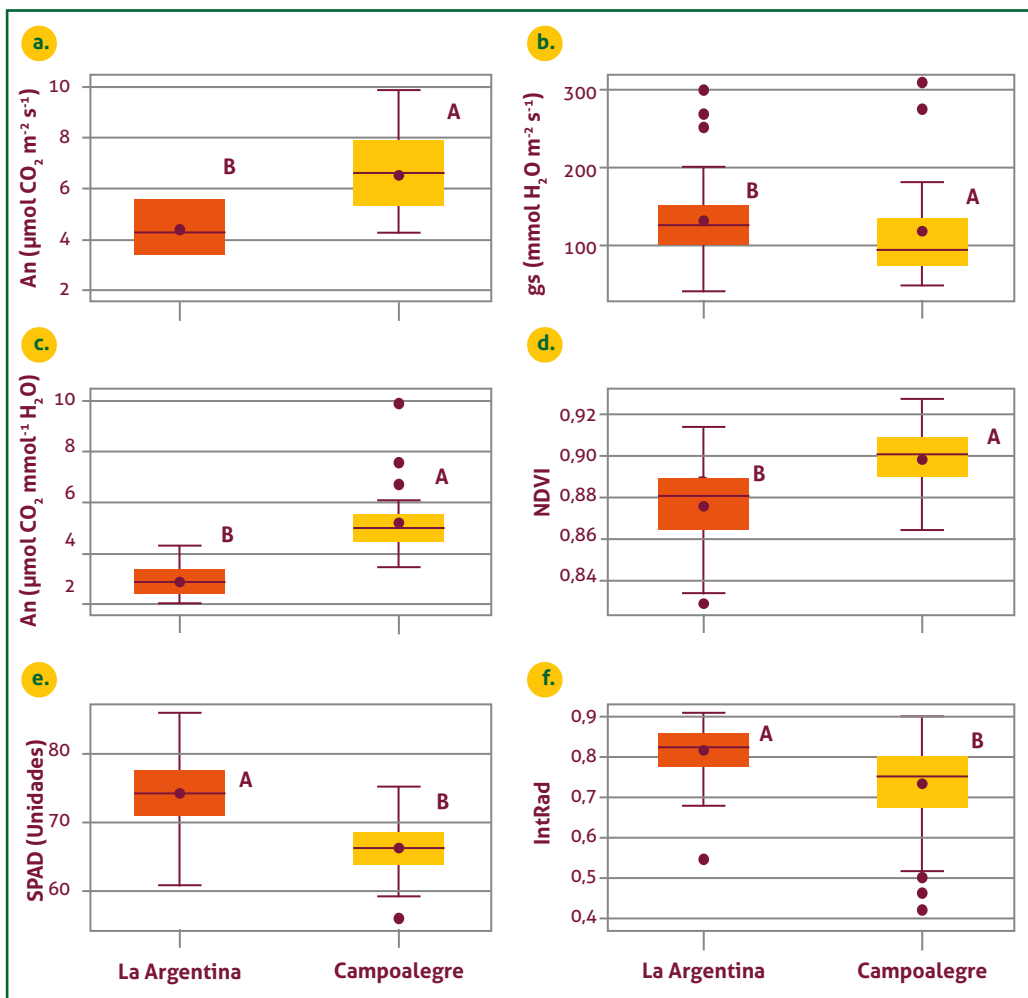


Figura 4. Comparación entre las variables fisiológicas evaluadas en las accesiones de la Colección Núcleo establecidas en los municipios de La Argentina y Campoalegre (Huila, Colombia). **a.** Fotosíntesis [tasa de asimilación neta de carbono (An)]; **b.** Conductancia estomática al vapor de agua (gs); **c.** Uso eficiente del agua (UEA); **d.** Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI); **e.** Índice relativo de clorofila (SPAD); **f.** Intercepción de la radiación (IntRad). Letras diferentes en mayúscula indican diferencias significativas entre las localidades usando la prueba de t-Student ($\alpha=0,05$).

El uso eficiente del agua indica que las plantas en Campoalegre crecieron sujetas a una menor disponibilidad de agua (52%) en relación con las plantas en La Argentina (Figuras 4c, 5 y 6), debido a que el valor del UEA se incrementa cuando el déficit hídrico que experimenta la planta es mayor (Dias et al., 2007) (Figuras 5 y 6). Esto tiene concordancia con la menor precipitación registrada en el municipio de Campoalegre respecto a La Argentina. Al analizar los balances hídricos, se observa cómo, aunque en La Argentina se presentan ocho décadas bajo condiciones de déficit hídrico, no hay una afectación al cultivo puesto que no son consecutivas. Mientras tanto, en Campoalegre se presentaron tres períodos con cuatro décadas continuas con déficit hídrico (Figura 6), lo cual sí tiene un efecto sobre la producción.

La fracción de la luz interceptada por la planta se registró en la variable IntRad y mostró que los cafetos en La Argentina capturaron más luz (11%) que las plantas en

Campoalegre (Figura 4f), debido al dosel más abundante que exhibieron las plantas en la primera localidad (observación en el campo). El tamaño del dosel presenta una asociación directa con esta variable (Palmer et al., 1992). La respuesta del índice NVDI está asociado positivamente con el vigor de las plantas (Gutiérrez-Soto et al., 2011). El NDVI en Campoalegre fue mayor al registrado en La Argentina (Figura 4d), en términos generales, con valores mayores a 0,80 en ambos municipios, los árboles de café presentaron un buen estado de vigor de acuerdo con lo reportado en la literatura para este índice (Gutiérrez-Soto et al., 2011). En café, el NDVI sólo ha permitido diagnosticar deficiencias extremas de nutrición, pero no intermedias o leves (Rendón & Sadeghian, 2018), lo cual podría explicar el resultado observado.

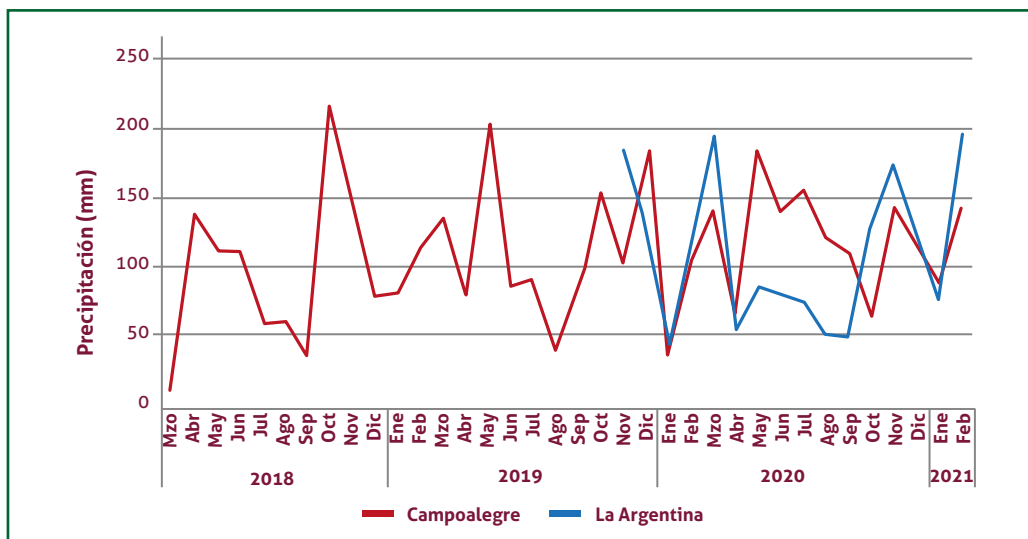


Figura 5. Precipitación mensual en Campoalegre y La Argentina. Periodos La Niña (azul), El Niño (rojo) y Neutro (gris).

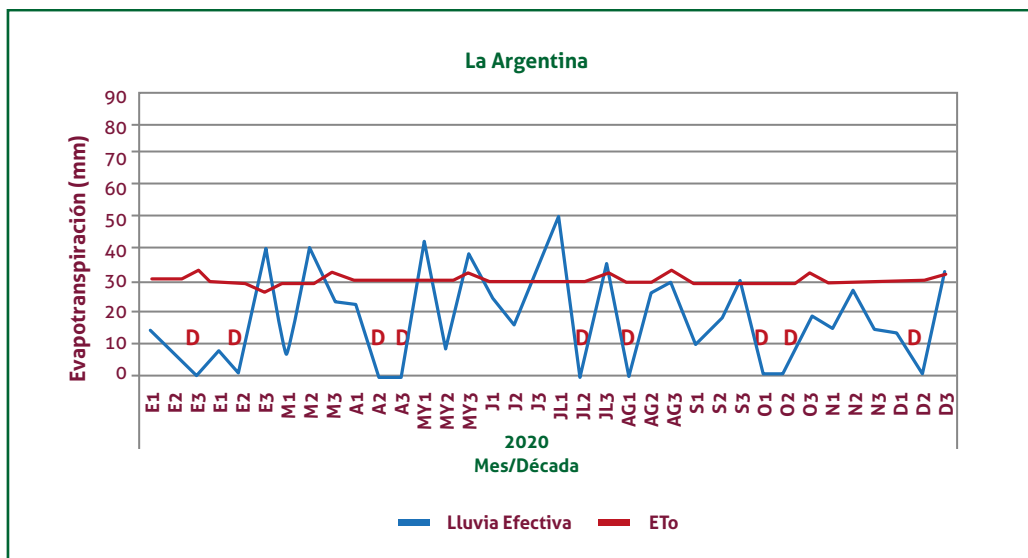


Figura 6. Balance hídrico de La Argentina y Campoalegre en el año 2020. D: década con déficit hídrico.

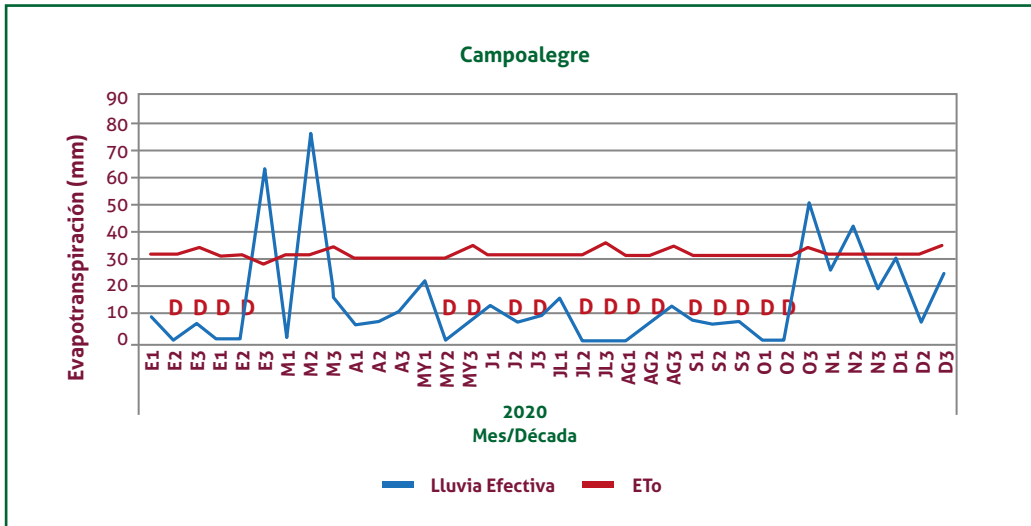


Figura 6. Balance hídrico de La Argentina y Campoalegre en el año 2020. D: década con déficit hídrico.

VARIABLES DE CRECIMIENTO REPRODUCTIVO

El crecimiento reproductivo del café en los municipios de La Argentina y Campoalegre se analiza en la Figura 7. En las variables tiempo a la primera floración (1ra flor.), número de eventos florales (Eventos) y producción acumulada por árbol (Produ.), el municipio de La Argentina fue estadísticamente mayor ($p < 0,05$) que Campoalegre. Por el contrario, para las variables sincronía floral (r_i), coeficiente de variación temporal individual (CV_i) y coeficiente de variación temporal poblacional (CV_p), el municipio de Campoalegre fue significativamente mayor ($p < 0,05$).

En Campoalegre los registros históricos muestran una temperatura promedio mayor en $3,0^\circ\text{C}$ con relación a La Argentina, esta característica de mayor temperatura induce a los cafetos a florecer 22 días más temprano en Campoalegre (Figura 7b). De forma similar, en localidades donde la temperatura promedio es mayor como en Santágueda (municipio de Palestina, Caldas) ubicada en la vertiente Occidental de la cordillera Central, a 1.100 m con un promedio de temperatura de $23,2^\circ\text{C}$, se necesitan menos días para acumular la energía necesaria para alcanzar el proceso de floración (Vélez et al., 2000; Flórez et al., 2013).

Adicionalmente, la floración del café fue más sincrónica (r_i) en el municipio de Campoalegre (28%) respecto a la observada en La Argentina (Figuras 7b), hecho que se asoció con la menor disponibilidad hídrica de Campoalegre (Figura 6). El parámetro r_i toma valores entre 0 y 1, un valor próximo a 1 indica que todas las plantas florecieron al mismo tiempo durante el período de floración (Michalski & Durka, 2007). De forma similar, la variación temporal de la floración a nivel individual (CV_i) y poblacional (CV_p) fue mayor en Campoalegre (24% y 36%, respectivamente) que en La Argentina (Figuras 7c y 7d). La variación temporal se refiere a qué tanto varían los picos florales durante el semestre floral, semestres con floraciones más concentradas tendrán valores más altos (Michalski & Durka, 2007). Dado que las condiciones más secas tienden a concentrar floraciones mientras que las húmedas las dispersan (Arcila & Jaramillo, 2003). Como las

floraciones se concentran, el número de eventos florales (variable Eventos) se reduce, hecho que se reflejó en la menor cantidad de picos florales de Campoalegre (51%) (Figura 7e).

Dada la mayor oferta hídrica de La Argentina, la producción de esta localidad fue mayor (43%) que la registrada en Campoalegre (Figuras 7f y 8). La producción de café (Prod.) es afectada al disminuir la disponibilidad de agua, debido a que en compensación al estrés hay una mayor translocación de foto-asimilados hacia las raíces que a la parte aérea de la planta (Dias et al., 2007). Campoalegre y La Argentina son localidades de cosecha de primer semestre; sin embargo, las condiciones ambientales predominantes en el 2020 originaron un patrón atípico con dos picos importantes, uno en primer y otro en segundo semestre (Figura 8).

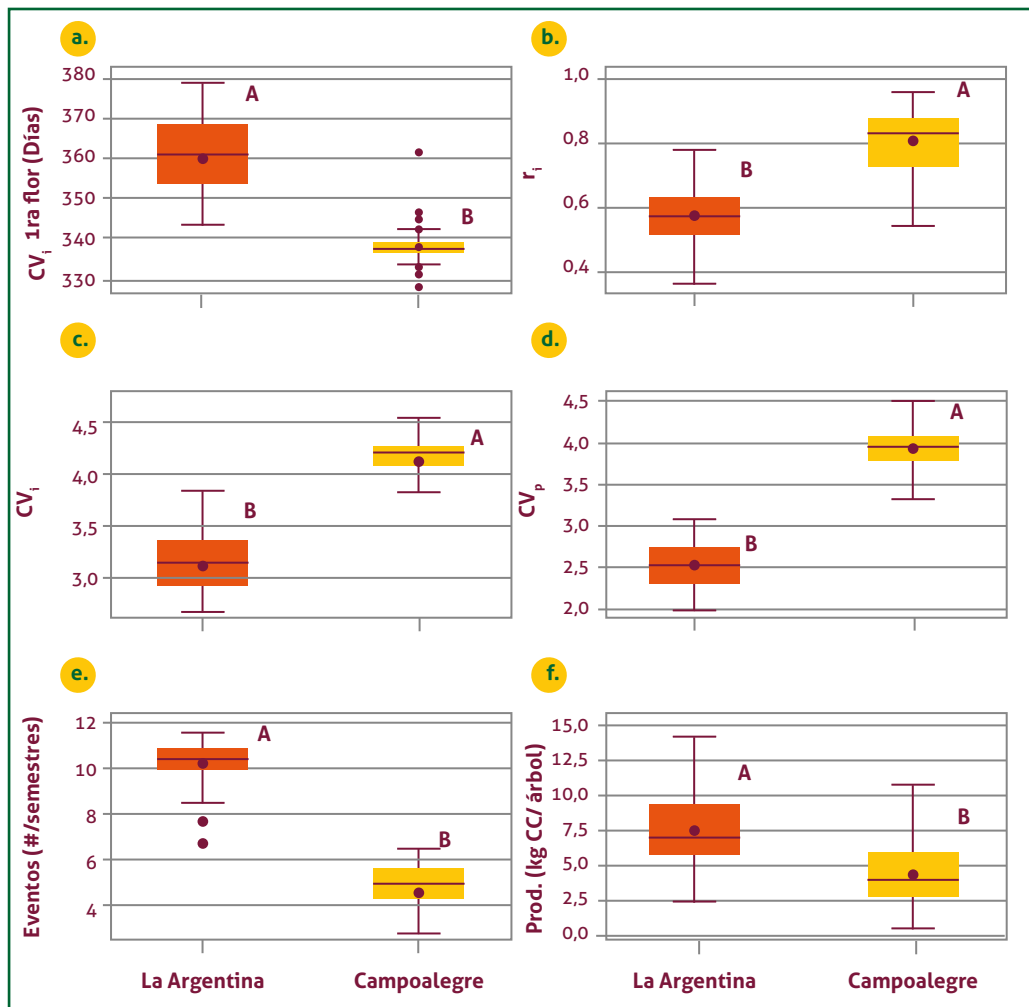


Figura 7. Comparación de las variables de crecimiento reproductivo en las variables de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en los municipios de La Argentina y Campoalegre (Huila, Colombia). **a.** Tiempo a primera floración (1ra flor.); **b.** Sincronía floral (r_i); **c.** Coeficiente de variación temporal individual (CV_i); **d.** Coeficiente de variación temporal poblacional (CV_p); **e.** Número de eventos florales (Eventos); **f.** Producción de café cereza por árbol (Prod.). Letras diferentes en mayúscula indican diferencias significativas entre las localidades usando la prueba de t-Student ($\alpha=0.05$).

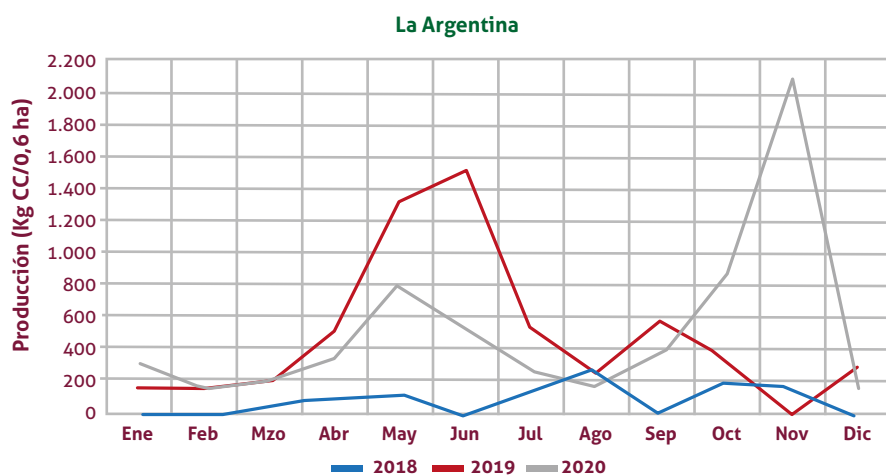
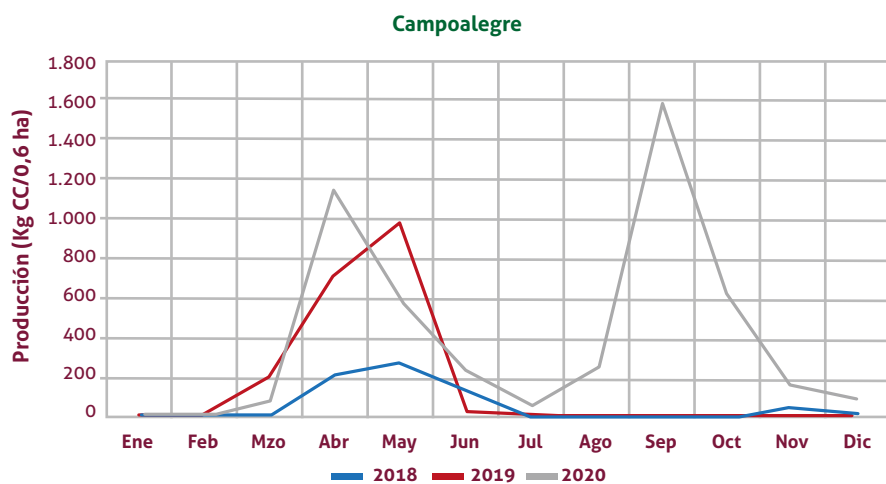


Figura 8. Distribución de la producción en los lotes experimentales establecidos con la Colección Núcleo en los municipios de Campoalegre y La Argentina.

Caracterización de las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en La Argentina (Huila)

En la Tabla 1 se identifican las accesiones de la Colección Núcleo que presentaron un desempeño alto o bajo con respecto al promedio general para cada variable evaluada en La Argentina.

Tabla 1. Caracterización de 50 accesiones de la CCC en el municipio de La Argentina (Huila, Colombia), respecto a las 16 variables evaluadas. Dif: diferencia en porcentaje respecto a la media. Los valores completos pueden ser consultados en las Tablas Suplementarias.

Variable	Accesión CCC	Dif.	Potencial
ĠLT	50, 135, 178, 293, 374, 534, 1045	29-57%	Menor longitud del tallo
	40, 176, 364, 757, 1056, 1074	31-55%	Mayor longitud del tallo
ĠDT	50, 178, 373, 374, 474, 1045, 1087	23-46%	Menor diámetro de tallo
	35, 187, 364, 427, 527, 757, 1056, 1074	15-23%	Mayor diámetro de tallo
ĠDC	50, 135, 165, 178, 210, 293, 374, 1045, 1087	20-30%	Menor diámetro de copa
	40, 49, 176, 428, 436, 461, 1056, 1146	18-42%	Mayor diámetro de copa
ĠDT	50, 66, 115, 178, 293, 352, 374, 534, 1045	16-25%	Menor número de cruces
	40, 48, 176, 183, 354, 527, 757, 1011, 1056, 1074, 1106	14-25%	Mayor número de cruces
An	16, 48, 49, 66, 115, 129, 187, 459	34-49%	Menor fotosíntesis
	135, 178, 293, 309, 321, 364, 527, 534, 1074	32-74%	Mayor fotosíntesis
gs	16, 40, 49, 66, 115	43-66%	Menor conductancia
	135, 293, 309, 534, 1146	41-133%	Mayor conductancia
UEA	168, 187, 210, 352, 374, 385, 459, 461, 1146	30-43%	Uso más eficiente del agua
	49, 66, 176, 364, 427, 1011	26-65%	Uso menos eficiente del agua
NDVI	50, 156, 178, 309, 373, 374, 1045	2-6%	Menor vigor
	66, 135, 204, 364, 1011, 1026	2-3%	Mayor vigor
SPAD	50, 156, 178, 309, 373, 374, 1045	7-17%	Menor contenido de clorofila
	66, 135, 204, 364, 1011, 1026	9-16%	Mayor contenido de clorofila
IntRad	35, 129, 176, 187, 374, 403, 474, 1106	10-30%	Menor tamaño del dosel
	16, 48, 82, 385, 757, 1011	10-12%	Mayor tamaño del dosel
1ra flor.	50, 156, 183, 352, 364, 385, 403, 534, 548, 1146	3-5%	Precoces en iniciar floración
	35, 321, 459, 474, 1011, 1026, 1045	3-5%	Tardías en iniciar floración
r_i	293, 427, 459, 1026, 1045, 1087	16-39%	Menor número de árboles/accesión florecen por evento
	35, 176, 474, 757, 1053, 1106, 1146	16-33%	Mayor número de árboles/accesión florecen por evento
CV_i	135, 165, 176, 210, 309, 403, 527, 1146	9-16%	Árboles con picos florales más leves/ evento
	178, 436, 459, 1011, 1026, 1045	9-22%	Árboles con picos florales más pronunciados/evento
CV_p	135, 156, 165, 210, 309, 352, 385, 403, 527, 1087	12-20%	Accesiones con picos florales más leves/ evento
	50, 178, 364, 374, 436, 459, 548, 1011, 1053	12-24%	Accesiones con picos florales más pronunciados /evento
Eventos	16, 50, 352, 373, 436, 459	10-32%	Menos eventos de floración
	82, 115, 210, 293, 321, 403, 527, 1074	10-14%	Más eventos de floración
Prod.	50, 168, 178, 204, 373, 374, 1045	38-70%	Menor producción
	165, 183, 277, 309, 354, 364, 527, 757, 1106	38-93%	Mayor producción

ĠLT= tasa absoluta de crecimiento en altura del tallo, ĠDT= tasa absoluta de crecimiento en diámetro del tallo, ĠDC= tasa absoluta de crecimiento en diámetro de la copa, ĠCT= tasa absoluta de crecimiento en número de cruces del tallo, An=tasa de asimilación neta de carbono, gs= conductancia estomática al vapor de agua, UEA= uso eficiente del agua, NDVI= índice de vegetación de diferencia normalizada, SPAD= índice relativo de clorofila, IntRad= intercepción de la radiación, 1ra flor.=tiempo a primera floración, r_i= sincronía floral, CV_i= coeficiente de variación temporal individual, CV_p= coeficiente de variación temporal poblacional, Eventos= número de eventos florales, Prod.= producción de café cereza por árbol.

Caracterización de las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC establecidas en Campoalegre (Huila)

En la Tabla 2, se identifican las accesiones de la Colección Núcleo que presentaron un desempeño alto o bajo con respecto al promedio general, para cada variable evaluada en Campoalegre.

Tabla 2. Caracterización de 50 accesiones de la Colección Núcleo de la CCC en el municipio de Campoalegre (Huila, Colombia), respecto a las 16 variables evaluadas. Dif.: diferencia respecto a la media. Los valores completos pueden ser consultados en las Tablas Suplementarias.

Variable	Accesión CCC	Dif.	Potencial
GLT	115, 135, 165, 277, 309, 321, 352, 459, 548, 1053	21-36%	Menor longitud del tallo
	16, 35, 48, 82, 129, 187, 757, 1026, 1056, 1106	17-36%	Mayor longitud del tallo
GDT	165, 178, 309, 373, 461, 548	20-40%	Menor diámetro de tallo
	16, 66, 187, 293, 427, 757, 1026	20-50%	Mayor diámetro de tallo
GDC	115, 135, 165, 277, 309, 321, 459, 548, 1053, 1087	17-38%	Menor diámetro de copa
	16, 40, 82, 129, 156, 187, 461, 1026	17-33%	Mayor diámetro de copa
GCT	115, 277, 321, 352, 459, 548, 1053	19-57%	Menor número de cruces
	82, 129, 135, 176, 183, 293, 527	16-29%	Mayor número de cruces
An	40, 168, 178, 187, 354, 1087, 1146	23-35%	Menor fotosíntesis
	16, 129, 156, 277, 293, 374, 1011, 1026	27-48%	Mayor fotosíntesis
gs	115, 204	52-58%	Menor conductancia
	16, 129, 165, 293, 374, 1056	50-155%	Mayor conductancia
UEA	40, 374, 385	27-40%	Uso más eficiente del agua
	115, 204, 1026	42-106%	Uso menos eficiente del agua
NDVI	176, 183, 187, 527, 548	1-4%	Menor vigor
	49, 66, 135, 178, 1026	1-3%	Mayor vigor
SPAD	16, 35, 82, 129, 156, 459, 548, 1053, 1106	5-15 %	Menor contenido de clorofila
	115, 165, 204, 474, 1011, 1026	7-12%	Mayor contenido de clorofila
IntRad	16, 50, 178, 373, 374, 1045	16-41%	Menor tamaño del dosel
	66, 115, 277, 354, 461, 1011, 1026, 1074	15-23%	Mayor tamaño del dosel
1ra flor.	50, 135, 176, 309, 385, 548	1-3%	Precoces en iniciar floración
	427, 474, 1026	2-7%	Tardías en iniciar floración
r _i	40, 66, 115, 135, 176, 534, 548, 1011, 1026, 1053	14-33%	Menor número de árboles/accesión florecen por evento
	50, 82, 156, 165, 354, 436, 461	15-20%	Mayor número de árboles/accesión florecen por evento
CV _i	16, 48, 176, 364, 534, 757, 1045	5-10%	Árboles con picos florales más leves/ evento
	115, 165, 459, 548, 1011, 1026, 1053	7-14%	Árboles con picos florales más pronunciados/evento
CV _p	66, 176, 364, 403, 474, 534, 548, 757	5-15%	Accesiones con picos florales más leves/ evento
	49, 115, 165, 436, 459, 461, 1026	8-15%	Accesiones con picos florales más pronunciados /evento

-> Continúa

-> Continuación

Variable	Accesión CCC	Dif.	Potencial
Eventos	35, 115, 373, 427, 436, 459, 548, 1026, 1056	20-40%	Menos eventos de floración
	135, 183, 293, 385, 403, 534, 1146	20-34%	Más eventos de floración
Prod.	66, 115, 165, 459, 548, 1026, 1053	60%	Menor producción
	16, 135, 156, 176, 183, 293, 527, 534, 1106, 1146	48-95%	Mayor producción

$\dot{G}LT$ = tasa absoluta de crecimiento en altura del tallo, $\dot{G}DT$ = tasa absoluta de crecimiento en diámetro del tallo, $\dot{G}DC$ = tasa absoluta de crecimiento en diámetro de la copa, $\dot{G}CT$ = tasa absoluta de crecimiento en número de cruces del tallo, An =tasa de asimilación neta de carbono, gs = conductancia estomática al vapor de agua, UEA = uso eficiente del agua, $NDVI$ = índice de vegetación de diferencia normalizada, $SPAD$ = índice relativo de clorofila, $IntRad$ = interceptación de la radiación, $1ra\ flor.$ =tiempo a primera floración, r_i = sincronía floral, CV_i = coeficiente de variación temporal individual, CV_p = coeficiente de variación temporal poblacional, $Eventos$ = número de eventos florales, $Prod.$ = producción de café cereza por árbol.

Relaciones entre las variables de crecimiento vegetativo, intercambio de gases, vigor, clorofila, interceptación de la radiación y crecimiento reproductivo

Las correlaciones positivas y altas se muestran con color verde oscuro y letra negra en la Tabla 3. Estas señalan que el diámetro del tallo y la longitud del tallo están asociados ($\dot{G}DC$ vs. $\dot{G}LT$), así como el uso eficiente del agua con la magnitud de la floración (número de flores/evento floral) tanto a nivel individual como poblacional (CV_i vs. UEA , CV_p vs. UEA). Esta correlación se explica puesto que a menor disponibilidad de agua se incrementan los valores de UEA (Dias et al., 2007), y como resultado, la floración durante el semestre floral es más concentrada (Arcila & Jaramillo, 2003). Por otra parte, la alta asociación entre la sincronía y la magnitud de la floración (r_i vs. CV_p) y en mayor grado entre la magnitud de la floración individual y poblacional (CV_p vs. CV_i) es lo esperado al evaluar patrones florales (Michalski & Durka, 2007).

Las correlaciones negativas y altas (color verde oscuro y letras rojas) entre la magnitud temporal de la floración (individual y poblacional) con el número de eventos (Event vs. CV_i , Event vs. CV_p), indica que los patrones de mayor variabilidad (picos de mayor magnitud y más concentrados) están asociados a menos eventos florales por semestre (Tabla 3).

Las correlaciones positivas y de carácter moderado-alto se presentan con color gris claro y letra en color negro en la Tabla 3. El diámetro del tallo se asoció positivamente con el crecimiento en longitud del tallo y la productividad ($\dot{G}DT$ vs. $\dot{G}LT$, $\dot{G}DT$ vs. $Prod.$) como ha sido previamente descrito en trabajos anteriores de Carvalho et al. (2010). El UEA se correlaciona positivamente con la fotosíntesis y con la sincronía floral (UEA vs. An , UEA vs. r_i), esto debido a que la fotosíntesis de las hojas se adaptó a la mayor radiación del ambiente más seco sin limitaciones estomáticas (Figura 4 a y b). Así mismo, al haber menor disponibilidad de agua como lo indican los valores del UEA , las floraciones tienden a ser más concentradas y, en consecuencia, más sincrónicas cuando ocurren los eventos de floración (Masarirambi et al., 2009).

Las correlaciones negativas y de carácter moderado-alto (color gris claro y letras rojas) entre los días a primera floración con el UEA , la sincronía y la magnitud temporal tanto a nivel individual como poblacional (1ra flor. vs. UEA , 1ra flor. vs. r_i , 1ra flor. vs. CV_i , 1ra flor. vs. CV_p) (Tabla 3), están vinculadas por las temperaturas más altas en lugares con menor disponibilidad hídrica, así cuando la temperatura es mayor se acumulan más grados día y en consecuencia el desarrollo de la planta se acelera presentando flores en menos

tiempo. No obstante, la menor disponibilidad de agua incrementa la variabilidad de los patrones florales y su sincronía, así como el UEA (Flórez et al., 2013). En este sentido también se explica, la relación inversa entre el número de eventos con la sincronía y el UEA (Eventos vs. r_i , Eventos vs. UEA) (Tabla 3), puesto que un menor número de eventos es el resultado de floraciones más concentradas, circunstancia que favorece a una floración más sincrónica, y estas floraciones normalmente se presentan cuando la disponibilidad de agua es baja, hecho que incrementa el UEA.

Finalmente, la asociación inversa entre la producción y la magnitud de floración temporal poblacional (Produ. vs. CV_i) (Tabla 3) se explica porque, a menor disponibilidad de agua la producción disminuye, pero se favorecen aspectos de la floración como picos más altos por evento y menor número de eventos durante el semestre florales, factor que contribuye a incrementar la variabilidad temporal en patrones de floración.

Las correlaciones consideradas como moderadas (r_{sp} = entre -0,60 y -0,50 además de entre 0,50 y 0,60) se muestran con color amarillo en la Tabla 3, mientras que las bajas y significativas (r_{sp} = entre -0,50 y -0,30 además de entre 0,30 y 0,50) se presentan en azul claro, en ambos casos solo se limitan a ser informativas para el presente estudio, esto debido a la incertidumbre de su propio valor para establecer asociaciones reales. Las correlaciones con valores de r_{sp} entre -0,30 y 0,30 no deben considerarse debido a su leve grado de asociación (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de correlación de Spearman (r_{sp}) por pares entre las combinaciones de 16 variables medidas en las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC (n=85), establecidas en los municipios de La Argentina y Campoalegre (Huila, Colombia).

	ĠAT	ĠDT	ĠDC	ĠCT	An	gs	UEA	NDVI	SPAD	IntRad	1ra flor.	r_i	CV_i	CV_p	Eventos	Prod.
ĠAT																
ĠDT	0,56**															
ĠDC	0,74**	0,51**														
ĠCT	0,68**	0,44**	0,49**													
An	0,11	-0,21	0,09	0,13												
gs	-0,09	0,10	-0,05	0,07	0,44**											
UEA	0,22*	-0,31**	0,17	0,09	0,64**	-0,32**										
NDVI	0,25*	-0,03	0,23*	0,10	0,34**	-0,09	0,53**									
SPAD	-0,05	0,29*	-0,03	-0,15	-0,42**	-0,07	-0,49**	-0,50**								
IntRad	-0,11	0,21	-0,15	-0,09	-0,23*	0,06	-0,28*	-0,10	0,22*							
1ra flor.	0,03	0,48**	-0,01	-0,12	-0,54**	-0,02	-0,64**	-0,46**	0,57**	0,22*						
r_i	0,23*	-0,33**	0,18	0,17	0,40**	-0,09	0,60**	0,7**	-0,44**	-0,41**	-0,67**					
CV_i	-0,01	-0,50**	0,03	-0,06	0,37**	-0,27*	0,70**	0,48**	-0,57**	-0,20	-0,61**	0,51**				
CV_p	0,10	-0,42**	0,14	0,03	0,43**	-0,24*	0,73**	0,49**	-0,53**	-0,30*	-0,64**	0,73**	0,89**			
Eventos	-0,10	0,42**	-0,13	0,02	-0,38**	0,25*	-0,69**	-0,52**	0,55**	0,23*	0,67**	-0,60**	-0,86**	-0,81**		
Prod.	0,33**	0,62**	0,22*	0,49**	-0,10	0,23*	-0,32*	-0,25*	0,23*	0,07	0,35**	-0,18	-0,62**	-0,46**	0,57**	

*correlación significativa al 5%, **correlación significativa al 1%. ĠLT: tasa absoluta de crecimiento en longitud del tallo, ĠDT: tasa absoluta de crecimiento en diámetro del tallo, ĠDC: tasa absoluta de crecimiento en diámetro de la copa, ĠCT: tasa absoluta de crecimiento en número de cruces del tallo, An: tasa de asimilación neta de carbono, gs: conductancia estomática al vapor de agua, UEA: uso eficiente del agua, NDVI: índice de vegetación de diferencia normalizada, SPAD: índice relativo de clorofila, IntRad: intercepción de la radiación, 1ra flor: tiempo a primera floración, r_i : sincronía floral, CV_i : coeficiente de variación temporal individual (magnitud de la floración a nivel de planta), CV_p : coeficiente de variación temporal poblacional (magnitud de la floración a nivel de accesión); Eventos: número de eventos florales, Prod.: producción de café cereza acumulada por árbol.

Calidad en taza

Se analizaron 232 muestras de café por sus atributos organolépticos, de las cuales el 59% corresponde a las muestras provenientes de La Argentina y el 41% de Campoalegre. En términos generales, las accesiones de la Colección Núcleo se clasificaron como especiales en las dos localidades. Sólo las muestras correspondientes a las accesiones CCC.1026 y CCC.1011 correspondientes a *C. liberica* y *C. canephora* obtuvieron un puntaje menor a 80 puntos SCA.

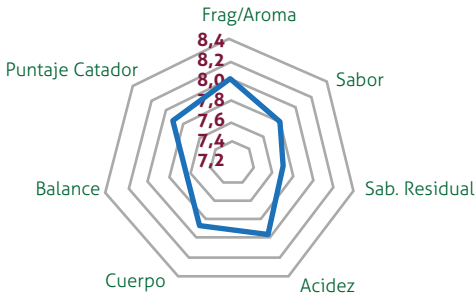
El 70% de las accesiones de la Colección Núcleo establecida en La Argentina obtuvieron un puntaje entre 80,0-83,9, clasificándose dentro del rango de café muy bueno. Así mismo, sobresalieron 14 accesiones que alcanzaron un puntaje SCA igual o superior a 84 puntos, lo cual las clasificó como de excelente calidad sensorial. Estas accesiones son: CCC.16, CCC.40, CCC.66, CCC.168, CCC.178, CCC.183, CCC.277, CCC.428, CCC.527, CCC.548, CCC.615, CCC.1074, CCC.1106 y CCC.1146. De igual forma, La accesión CCC.293 presentó en ambas localidades un puntaje igual o superior a 84 puntos SCA.

Al desglosar los resultados de acuerdo con sus atributos sensoriales, se observa que para las accesiones evaluadas la uniformidad, taza limpia y dulzor no presentaron diferencias entre las dos localidades (diez puntos SCA). En las Figuras 9 y 10 se muestran los atributos fragancia/aroma, sabor/sabor residual, acidez, cuerpo, balance y el puntaje catador en aquellas accesiones con excelente taza.

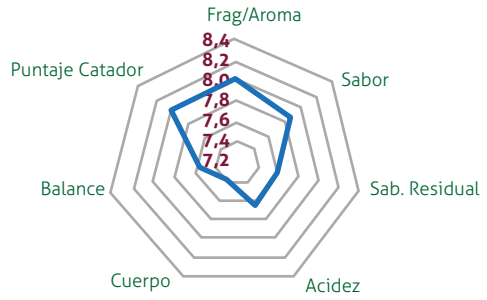
Las muestras de excelente taza se perfilaron describiendo cada uno de sus atributos sensoriales. Se encontró un amplio número de notas para cada descriptor, lo que refleja la diversidad presente en la CCC para este carácter. Prevalen las fragancias/aromas y sabor frutales con notas cítricas, sabor residual limpio, una acidez brillante y un cuerpo suave (Tabla 4).



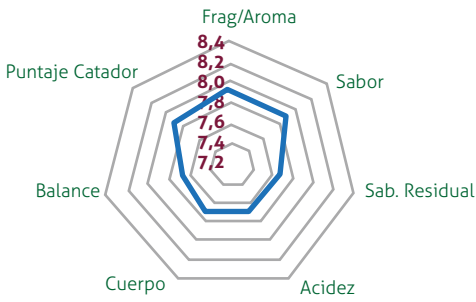
CCC.16



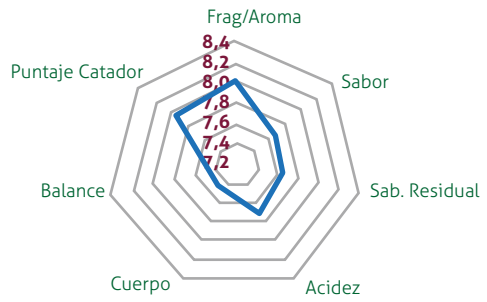
CCC.168



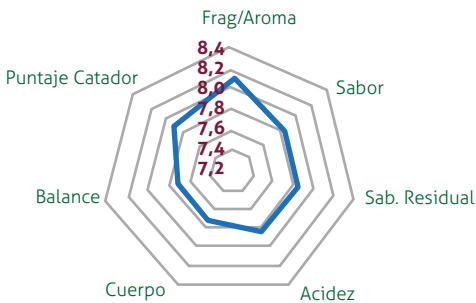
CCC.178



CCC.183



CCC.167



CCC.166

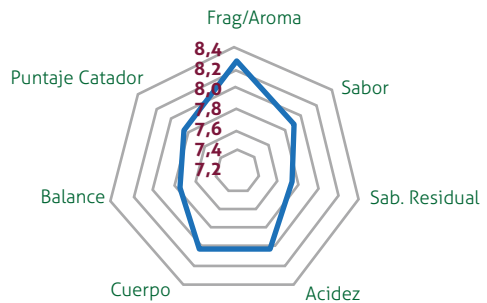


Figura 9. Atributos sensoriales de las accesiones de la Colección Núcleo clasificadas con una taza excelente (puntaje SCA ≥ 84). Azul: La Argentina.

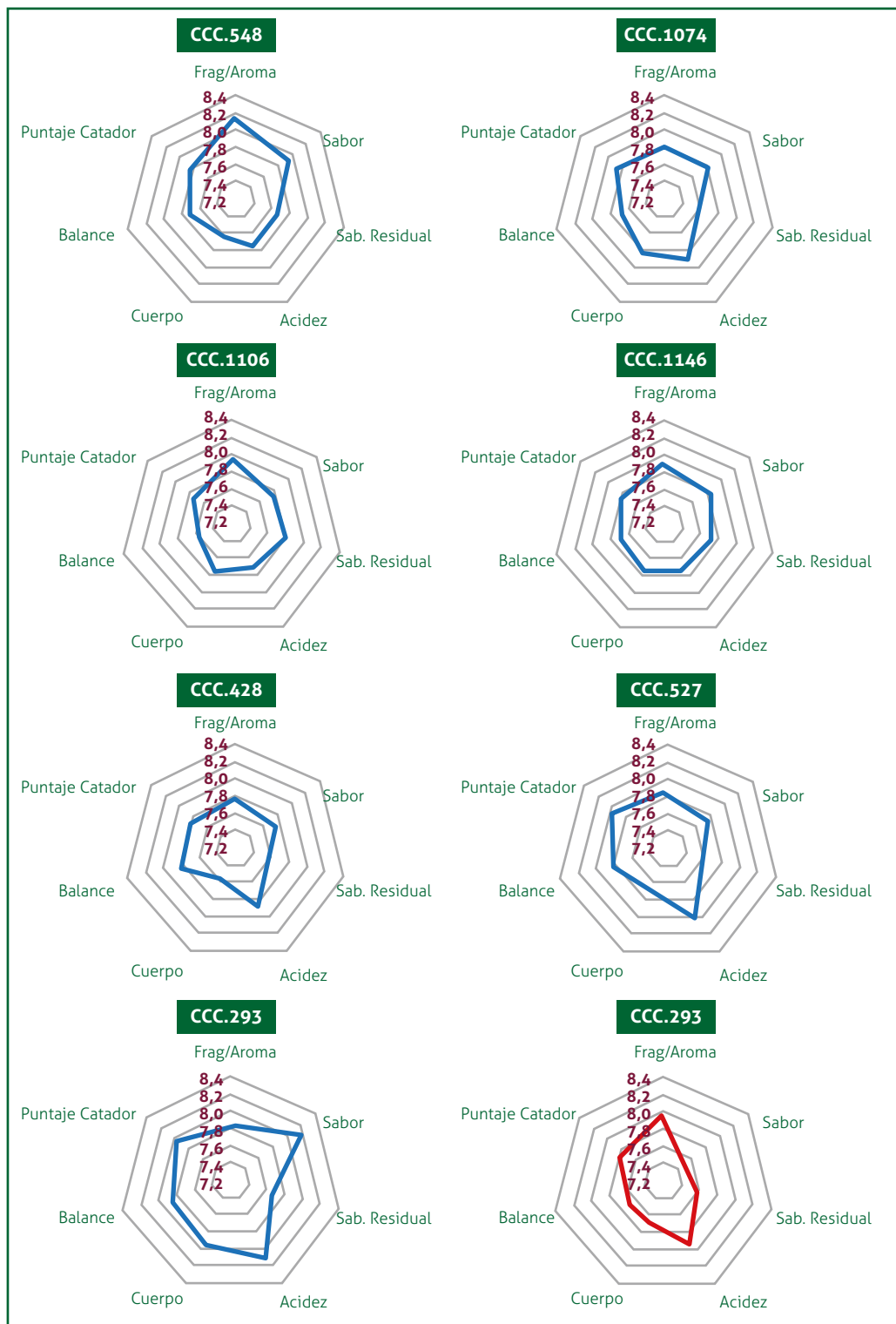


Figura 10. Atributos sensoriales de las accesiones de la Colección Núcleo clasificadas con una taza excelente (puntaje SCA \geq 84). Azul: La Argentina, Naranja: Campoalegre.

Tabla 4. Proporción de descriptores asociados con los atributos fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez y cuerpo encontrado en las accesiones de la Colección Núcleo de la CCC clasificadas como de excelente calidad sensorial.

Atributo Sensoria	Descriptor	Nota	Proporción de Muestras (%)
Fragancia/Aroma	Dulce	Caramelo	4
		Chocolate	0
		Panela	0
		Miel	15
		Caña de azúcar	4
		Vainilla	12
	Floral	Jazmín	12
		Limoncillo	12
		Rosas	4
		Lavanda	0
	Frutal	Cítricos (limón, lima, naranja, toronja)	23
		Frutos secos (nueces, avellanas, almendras)	0
		Frutos rojos (manzanas, fresas, uvas, cerezas, vino, moras, arándanos, frambuesas)	12
Frutos amarillos (durazno, maracuyá, melocotón, piña, banano)		4	
Sabor	Dulce	Caramelo	11
		Chocolate	5
		Panela	0
		Miel	21
		Caña de azúcar	0
		Vainilla	0
	Floral	Jazmín	11
		Limoncillo	5
		Rosas	0
		Lavanda	0
	Frutal	Cítricos (limón, lima, naranja, toronja)	21
		Frutos secos (nueces, avellanas, almendras)	11
		Frutos rojos (manzanas, fresas, uvas, cerezas, vino, moras, arándanos, frambuesas)	11
Frutos amarillos (durazno, maracuyá, melocotón, piña, banano)		5	
Sabor Residual	Limpio		50
	Nítido		20
	Suave		30
Acidez			20
	Intensa		40
	Brillante		30
	Fina		10
	Delicada		10
Cuerpo	Cremoso		20
	Suave		40
	Consistente		10
	Delicado		10
	Intenso		20

Evaluación de factores bióticos propios de la región

Aunque se observó baja prevalencia de las plagas y enfermedades en las épocas y localidades evaluadas, sí fue posible confirmar su dependencia a condiciones medioambientales específicas, tal como fue reportado previamente por Benavides-Machado et al. (2019) y Marín-Ramírez et al. (2019).

En Campoalegre, sólo se registró la presencia del minador de café (*L. coffeella*) en los dos períodos evaluados. En 2019, tres accesiones tuvieron 0,3% de infestación (CCC.16, CCC.129 y CCC.757), mientras que, en 2021, las accesiones CCC.168 y CCC.428 presentaron 1,2% y 1,0% de infestación, respectivamente.

En la evaluación de 2019 en La Argentina, se observó la presencia de la araña roja (*O. yothersi*) en nueve accesiones evaluadas, con niveles de infestación menores a 1,0% (CCC.16, CCC.48, CCC.183, CCC.548, CCC.1011 y CCC.1087), entre 1,0% y 2,0% (CCC.66 y CCC.474) y con 2,6% la accesión CCC.165. Así mismo, se observaron daños ocasionados por la chinche de la chamusquina del café *M. velezangeli*, en 27 accesiones evaluadas, con niveles de infestación entre 0,4% y 8,0%. En 23 de estas accesiones se observaron los daños en la evaluación de 2019.

Se observó la afectación por muerte descendente (*Phoma* spp.) en 13 accesiones establecidas en La Argentina, sólo en la evaluación de 2019, con un nivel de infección entre 0,2% y 1,9%.

En estas evaluaciones se observaron accesiones que no fueron afectadas por las plagas evaluadas (*L. coffeella*, *O. yothersi* y *M. velezangeli*); sin embargo, su potencial de resistencia debe corroborarse en evaluaciones con infestaciones artificiales, donde se garantice el contacto entre el insecto plaga y la planta.

Conclusiones

En el presente estudio por primera vez en Colombia, se caracterizaron morfológica, agronómica y fisiológicamente, 50 accesiones de la Colección Colombiana de Café que representan su diversidad (Colección Núcleo) en dos ambientes contrastantes de la caficultura colombiana. Se identificaron accesiones etíopes silvestres que se destacan por su buen comportamiento bajo las condiciones experimentales evaluadas, con potencial para ser incluidas dentro del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé como progenitores de futuras variedades mejoradas.

Así mismo, el establecimiento de correlaciones entre algunas de las variables evaluadas es útil para una selección indirecta de caracteres de interés para el Programa de Mejoramiento Genético.

Literatura citada

- Arcila, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., & Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). *Annals of Applied Biology*, 141(1), 19–27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Arcila, J., & Jaramillo Robledo, A. (2003). Relación entre la humedad del suelo, la floración y el desarrollo del fruto del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 311, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4215>
- Bawa, K. S., Kang, H., & Grayum, M. H. (2003). Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany*, 90(6), 877–887. <https://doi.org/10.3732/ajb.90.6.877>
- Benavides Machado, P., Laiton-Jiménez, L. A., & López-Franco, F. (2019). Alertas tempranas para el manejo de plagas. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila: Vol. 1. 2015-2019* (pp. 106–135). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_5
- Bote, A. D., Ayalew, B., Ocho, F. L., Anten, N. P. R., & Vos, J. (2018). Analysis of coffee (*Coffea arabica* L.) performance in relation to radiation levels and rates of nitrogen supply I. Vegetative growth, production and distribution of biomass and radiation use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 92, 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.10.007>
- Carvalho, A. M. de, Mendes, A. N. G., Carvalho, G. R., Botelho, C. E., Gonçalves, F. M. A., & Ferreira, A. D. (2010). Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(3), 269–275. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300006>
- Cunha, A. R. da, Katz, I., Sousa, A. de P., & Martínez Uribe, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97–105. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>
- Dias, P. C., Araujo, W. L., Moraes, G. A. B. K., Barros, R. S., & DaMatta, F. M. (2007). Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. *Journal of Plant Physiology*, 164(12), 1639–1647. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.12.004>
- Elzinga, J. A., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A. E., & Bernasconi, G. (2007). Time after time: Flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(8), 432–439. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.05.006>
- Flórez, C. P., Ibarra, L. N., Gómez, L. F., Carmona, C. Y., Castaño, A., & Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 123–168). Cenicafé.
- Franck, N., & Vaast, P. (2009). Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. *Trees*, 23(4), 761–769. <https://doi.org/10.1007/s00468-009-0318-z>
- Franck, N., Vaast, P., Genard, M., & Dauzat, J. (2006). Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea arabica*. *Tree Physiology*, 26(4), 517–525. <https://doi.org/10.1093/treephys/26.4.517>
- Frankel, O. H. (1984). Genetic perspectives of germplasm conservation. En W. Arber, K. Ilmensee, W. J. Peacock, & P. Starlinger (Eds.), *Genetic Manipulation: Impact on Man and Society* (pp. 161–170). Cambridge University Press. <http://hdl.handle.net/102.100.100/281332?index=1>

- Guillaumet, J. L., & Halle, F. (1978). Échantillonnage du matériel *Coffea arabica* récolté en Éthiopie. En A. Charrier (Ed.), *Etude de la structure et de la variabilité génétique des caféiers: Résultats des études et des expérimentations réalisées au Cameroun, en Cote d'Ivoire et à Madagascar sur l'espèce Coffea arabica L. collectée en Ethiopie par une mission ORSTOM en 1966- Bulletin IFCC 14* (pp. 13–18). IFCC.
- Gutiérrez-Soto, M. V., Cadet-Piedra, E., Rodríguez-Montero, W., & Araya-Alfaro, J. M. (2011). El GreenSeekerTM y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 397-403. <https://doi.org/10.15517/am.v22i2.11799>
- Hunt, R. (1990). *Basic Growth Analysis*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>
- Koenig, W. D., Kelly, D., Sork, V. L., Duncan, R. P., Elkinon, J. S., Peltonen, M. S., & Westfall, R. D. (2003). Dissecting components of population-level variation in seed production and the evolution of masting behavior. *Oikos*, 102(3), 581-591. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12272.x>
- Masarirambi, M. T., Chingwara, V., & Shongwe, V. D. (2009). The effect of irrigation on synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(13-16), 786-789. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.06.013>
- Marín-Ramírez, G., Lopez-Vásquez, J. M., López-Franco, F., & Ángel, C. A. (2019). Alertas tempranas para el manejo de enfermedades. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 136–161). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_6
- Matos, F. S., Wolfgramm, R., Gonçalves, F. V., Cavatte, P. C., Ventrella, M. C., & DaMatta, F. M. (2009). Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. *Environmental and Experimental Botany*, 67(2), 421-427. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.06.018>
- Meyer, F. G., Fernie, L. M., Narasimhaswamy, R. L., Monaco, L. C., & Greathead, D. J. (1968). *FAO Coffee Mission to Ethiopia 1964-1965*. FAO.
- Michalski, S. G., & Durka, W. (2007). Synchronous Pulsed Flowering: Analysis of the Flowering Phenology in *Juncus* (Juncaceae). *Annals of Botany*, 100(6), 1271-1285. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm206>
- Palmer, J. W., Avery, D. J., & Wertheim, S. J. (1992). Effect of apple tree spacing and summer pruning on leaf area distribution and light interception. *Scientia Horticulturae*, 52(4), 303-312. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(92\)90031-7](https://doi.org/10.1016/0304-4238(92)90031-7)
- Rendón, J. R., & Sadeghian, S. (2018). Aplicación de índices espectrales para identificar necesidades de fertilización nitrogenada en café. *Revista Cenicafé*, 69(1), 7–15. <https://doi.org/10.38141/10778/1088>
- Rendón, J. R., Arcila, J., & Montoya, E. C. (2008). Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Revista Cenicafé*, 59(3), 238–259. <http://hdl.handle.net/10778/108>
- Sakai, S. (2001). Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology*, 43(1), 77–86. <https://doi.org/10.1007/PL00012018>
- Vaast, P., Angrand, J., Franck, N., Dauzat, J., & Genard, M. (2005). Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. *Tree Physiology*, 25(6), 753–760. <https://doi.org/10.1093/treephys/25.6.753>

Material suplementario

Tabla Suplementaria 1. Caracterización de la Colección Núcleo de Café de CCC en el municipio de Campoalegre (Huila, Colombia) respecto a las variables $\bar{G}LT$, $\bar{G}DT$, $\bar{G}DC$ y $\bar{G}CT$. El símbolo (+) indica que el valor de la accesión fue clasificado como mayor a la media general, mientras que, el símbolo (-) señala que el valor de la accesión fue clasificado como menor a la media.

ID Accesión (CCC)	La Argentina				Campoalegre			
	$\bar{G}LT$	$\bar{G}DT$	$\bar{G}DC$	$\bar{G}CT$	$\bar{G}LT$	$\bar{G}DT$	$\bar{G}DC$	$\bar{G}CT$
16	4,1	0,12	4,3	0,72	6,8 (+)	0,13 (+)	6,4 (+)	0,91
35	5,9	0,16 (+)	5,6	0,68	6,8 (+)	0,10	5,1	0,69
40	6,9 (+)	0,14	6,3 (+)	0,90 (+)	5,3	0,10	6,1 (+)	0,74
48	6,2	0,14	4,9	0,95 (+)	6,3 (+)	0,11	5,4	0,90
49	5,5	0,12	6,4 (+)	0,72	4,8	0,10	5,8	0,68
50	2,6 (-)	0,07 (-)	4,0 (-)	0,58 (-)	4,6	0,10	5,0	0,82
66	5,0	0,15	4,9	0,63 (-)	4,5	0,12 (+)	5,9	0,67
82	4,9	0,11	5,0	0,85	6,8 (+)	0,10	6,3 (+)	0,92 (+)
115	4,2	0,11	4,8	0,63 (-)	3,6 (-)	0,10	4,1 (-)	0,62 (-)
129	4,7	0,13	5,3	0,81	7,2 (+)	0,12	6,9 (+)	1,02 (+)
135	2,1 (-)	0,10	3,9 (-)	0,72	4,2 (-)	0,12	4 (-)	1 (+)
156	4,4	0,13	4,7	0,77	5,8	0,12	6,4 (+)	0,80
165	4,6	0,12	3,6 (-)	0,70	4,1 (-)	0,07 (-)	4,3 (-)	0,68
168	4,9	0,12	4,3	0,74	4,9	0,12	5,8	0,88
176	6,7 (+)	0,14	7,1 (+)	0,95 (+)	5,4	0,11	5,6	0,93 (+)
178	2,8 (-)	0,07 (-)	3,6 (-)	0,58 (-)	4,9	0,08 (-)	4,4	0,71
183	5,9	0,14	5,6	0,90 (+)	5,4	0,10	5,2	0,94 (+)
187	5,2	0,16 (+)	4,7	0,83	6,6 (+)	0,13 (+)	6,7 (+)	0,84
204	4,7	0,12	4,6	0,80	4,4	0,11	5,0	0,84
210	4,5	0,10	3,9 (-)	0,79	5,3	0,09	5,1	0,82
277	4,9	0,15	4,6	0,82	4,0 (-)	0,09	4,2 (-)	0,61 (-)
293	3,3 (-)	0,11	4,0 (-)	0,65 (-)	5,7	0,15 (+)	5,1	0,98 (+)
309	5,0	0,14	5,7	0,76	3,9 (-)	0,08 (-)	3,7 (-)	0,67
321	4,2	0,12	5,2	0,68	4,2 (-)	0,08	4,1 (-)	0,55 (-)
352	3,7	0,11	4,1	0,64 (-)	3,8 (-)	0,09	5,4	0,61 (-)

-> Continúa

-> Continuación

ID Accesoión (CCC)	La Argentina				Campoalegre			
	ĜLT	ĜDT	ĜDC	ĜCT	ĜLT	ĜDT	ĜDC	ĜCT
354	5,9	0,12	5,5	0,95 (+)	4,7	0,09	4,8	0,85
364	6,5 (+)	0,15 (+)	5,5	0,85	5,8	0,09	5,1	0,82
373	3,9	0,08 (-)	4,2	0,71	5,2	0,08 (-)	5,3	0,75
374	3,3 (-)	0,08 (-)	3,7 (-)	0,64 (-)	5,0	0,11	4,6	0,86
385	4,1	0,11	4,5	0,75	5,4	0,10	5,2	0,86
403	5,5	0,12	5,5	0,80	5,5	0,10	5,2	0,77
427	6,1	0,16 (+)	5,8	0,87	5,9	0,13 (+)	5,5	0,91
428	5,5	0,14	6,0 (+)	0,69	6,1	0,11	5,4	0,81
436	4,9	0,15	6,1 (+)	0,80	5,8	0,11	5,1	0,81
459	4,0	0,15	4,8	0,70	4,2 (-)	0,09	4,1 (-)	0,64 (-)
461	4,2	0,10	6,4 (+)	0,74	5,3	0,07 (-)	6,1 (+)	0,78
474	4,7	0,10 (-)	4,2	0,69	5,2	0,08	4,9	0,68
527	6,0	0,15 (+)	5,6	0,91 (+)	5,5	0,10	4,7	0,96 (+)
534	3,5 (-)	0,10	4,3	0,64 (-)	4,6	0,12	5,3	0,84
548	5,9	0,13	4,1	0,88	3,6 (-)	0,06 (-)	3,2 (-)	0,57 (-)
757	7,6 (+)	0,15 (+)	5,5	0,96 (+)	6,6 (+)	0,12 (+)	5,6	0,87
1011	5,9	0,14	4,6	0,96 (+)	5,3	0,11	6,0	0,87
1026	5,9	0,15	5,3	0,69	6,9 (+)	0,14 (+)	6,4 (+)	0,70
1045	2,7 (-)	0,08 (-)	3,5 (-)	0,58 (-)	5,1	0,10	5,1	0,83
1053	5,3	0,14	5,4	0,70	3,4 (-)	0,09	4,2 (-)	0,34 (-)
1056	7,4 (+)	0,16 (+)	6,8 (+)	0,88 (+)	6,7 (+)	0,10	6,0	0,83
1074	6,4 (+)	0,15 (+)	5,7	0,89 (+)	5,7	0,11	4,9	0,77
1087	4,1	0,09 (-)	3,7 (-)	0,73	4,8	0,09	4,2 (-)	0,69
1106	5,9	0,14	5,2	0,94 (+)	6,2 (+)	0,09	5,5	0,86
1146	5,2	0,14	5,9 (+)	0,78	5,2	0,11	5,3	0,88
Media - DS	3,7	0,1	4,1	0,66	4,3	0,08	4,4	0,66
Media	4,9	0,13	5	0,77	5,3	0,1	5,2	0,79
Media + DS	6,2	0,15	5,9	0,88	6,2	0,12	6,0	0,92

ĜLT= tasa absoluta de crecimiento en altura del tallo, ĜDT= tasa absoluta de crecimiento en diámetro del tallo, ĜDC= tasa absoluta de crecimiento en diámetro de la copa, ĜCT= tasa absoluta de crecimiento en número de cruces del tallo, DS= Desviación estándar.

Tabla Suplementaria 2. Caracterización de la Colección Núcleo de Café de CCC en el municipio de Campoalegre (Huila, Colombia) respecto a las variables An, gs, UEA, NDVI, SPAD e IntRad. El símbolo (+) indica que el valor de la accesión fue clasificado como mayor a la media general, mientras que, el símbolo (-) señala que el valor de la accesión fue clasificado como menor a la media.

ID Accesión (CCC)	La Argentina						Campoalegre					
	An	gs	UEA	NDVI	SPAD	IntRad	An	gs	UEA	NDVI	SPAD	IntRad
16	3,1 (-)	74 (-)	2,1	0,89	68,1 (-)	0,89 (S)	8,5 (+)	175 (+)	4,7	0,90	59,4 (-)	0,61 (I)
35	3,7	86	2,7	0,89	73,9	0,71 (I)	5,8	94	4,3	0,91	61 (-)	0,75
40	3,5	71 (-)	2,6	0,89	78,7	0,80	4,5 (-)	109	2,9 (-)	0,91	65,8	0,74
48	3,0 (-)	82	1,9	0,86	72,0	0,89 (S)				0,90	66,6	0,69
49	2,9 (-)	44 (-)	3,8 (+)	0,89	82,8 (+)	0,79				0,91 (+)	68,9	0,78
50	4,6	122	2,0	0,83 (-)	75,5	0,79				0,90	68,9	0,43 (I)
66	2,9 (-)	60 (-)	2,9 (+)	0,90 (+)	76,2	0,86				0,92 (+)	69,8	0,87 (S)
82	3,2	125	1,8	0,88	70,8	0,9 (S)				0,91	61,2 (-)	0,71
115	2,4 (-)	52 (-)	2,6	0,89	82,4 (+)	0,86	6,8	52 (-)	9,9 (+)	0,89	73,6 (+)	0,88 (S)
129	3,1 (-)	80	2,3	0,88	72,6	0,73 (I)	9,8 (+)	307 (+)	4,0	0,91	61,5 (-)	0,64
135	8,1 (+)	265 (+)	2,7	0,91 (+)	66,6 (-)	0,84	6,8	114	4,3	0,93 (+)	65,0	0,72
156	4,1	132	2,2	0,85 (-)	75,9	0,86	8,7 (+)	148	4,8	0,90	62,3 (-)	0,66
165	4,5	124	2,2	0,86	80,4 (+)	0,82	6,7	175 (+)	4,0	0,89	71,4 (+)	0,75
168	3,9	162	1,5 (-)	0,89	74,3	0,87	5,1 (-)	94	4,0	0,90	63,9	0,80
176	6,1	145	2,9 (+)	0,89	71,3	0,72 (I)	7,1	100	4,8	0,89 (-)	68,4	0,74
178	6,4 (+)	131	2,5	0,84 (-)	73,3	0,82	5,1 (-)	68	4,5	0,92 (+)	67,1	0,46 (I)
183	5,8	138	2,6	0,89	70,7	0,88	7,0	86	5,3	0,86 (-)	65,9	0,75
187	3,1 (-)	115	1,4 (-)	0,88	68,3 (-)	0,68 (I)	5,1 (-)	77	5,0	0,88 (-)	67,0	0,70
204	3,5	126	1,9	0,9 (+)	71,1	0,87	6,7	58 (-)	6,8 (+)	0,90	72,6 (+)	0,79
210	4,4	160	1,5 (-)	0,86	77,9	0,86	5,3	74	4,5	0,90	66,1	0,67
277	4,5	153	2,1	0,90	73,1	0,82	8,4 (+)	127	5,4	0,89	69,0	0,84 (S)
293	7,5 (+)	205 (+)	2,8	0,87	70,2	0,83	8,9 (+)	185 (+)	5,0	0,89	67,6	0,63
309	8,2 (+)	183 (+)	2,8	0,84 (-)	72,6	0,87	6,8	108	5,1	0,89	66,0	0,84
321	6,2 (+)	163	2,1	0,87	81,1 (+)	0,77	6,1	86	4,9	0,90	69,7	0,72
352	4,7	180	1,6 (-)	0,89	71,0	0,86	6,7	145	4,2	0,91	67,4	0,73
354	5,1	115	2,8	0,88	82,8 (+)	0,81	4,9 (-)	75	4,1	0,89	66,4	0,85 (S)

-> Continúa

-> Continuación

ID Acceso (CCC)	La Argentina						Campoalegre					
	An	gs	UEA	NDVI	SPAD	IntRad	An	gs	UEA	NDVI	SPAD	IntRad
364	7,3 (+)	168	3,4 (+)	0,9 (+)	65,6 (-)	0,85	5,8	62	5,7	0,89	67,0	0,77
373	4,2	127	1,7	0,83 (-)	73,9	0,78	5,7	98	4,5	0,91	67,1	0,5 (l)
374	3,2	113	1,5 (-)	0,86 (-)	73,9	0,57 (l)	9,1 (+)	269 (+)	3,5 (-)	0,9	66,7	0,52 (l)
385	4,1	153	1,5 (-)	0,87	77,3	0,89 (S)	5,6	135	3,4 (-)	0,91	68,2	0,79
403	6,2	134	2,7	0,88	81,1 (+)	0,71 (l)	5,3	76	4,7	0,91	68,5	0,75
427	4,3	80	3 (+)	0,88	68,4 (-)	0,86				0,90	65,1	0,83
428	3,6	104	2,0	0,88	77,1	0,88				0,91	65,6	0,77
436	4,2	112	2,4	0,88	77,8	0,76				0,89	64,0	0,82
459	2,9 (-)	119	1,3 (-)	0,90	61,4 (-)	0,84				0,90	56,2 (-)	0,71
461	3,7	130	1,5 (-)	0,87	73,4	0,86				0,90	65,4	0,9 (S)
474	4,8	98	2,8	0,86	76,6	0,73 (l)				0,91	71,6 (+)	0,66
527	7,0 (+)	158	2,7	0,88	67,2 (-)	0,77				0,86 (-)	64,9	0,82
534	8,1 (+)	257 (+)	2,2	0,87	67,6 (-)	0,82				0,89	69,7	0,69
548	5,6	132	2,7	0,88	85,6 (+)	0,86				0,87 (-)	61,1 (-)	0,77
757	3,6	82	2,7	0,86	72,9	0,91 (S)				0,89	67,1	0,68
1011	5,3	112	3,3 (+)	0,91 (+)	66,7 (-)	0,89 (S)	8,4 (+)	126	5,0	0,91	71 (+)	0,86 (S)
1026	4,6	104	2,8	0,91 (+)	75,2	0,88	9,1 (+)	81	7,7 (+)	0,93 (+)	75 (+)	0,86 (S)
1045	4,4	145	1,7	0,83 (-)	66,3 (-)	0,80	5,6	74	5,2	0,90	67,5	0,61 (l)
1053	3,7	111	1,8	0,88	75,8	0,77	6,2	102	5,7	0,89	61,7 (-)	0,78
1056	3,6	112	1,9	0,88	82 (+)	0,81	7,9	174 (+)	3,9	0,89	64,3	0,76
1074	6,5 (+)	129	2,7	0,89	76,7	0,83	6,2	139	3,9	0,91	65,7	0,86 (S)
1087	3,2	99	1,9	0,87	72,8	0,79	4,3 (-)	66	5,1	0,89	63,5	0,66
1106	4,5	123	1,9	0,89	76,1	0,72 (l)	6,8	132	4,8	0,90	62,3 (-)	0,79
1146	5,2	303 (+)	1,5 (-)	0,90	71,7	0,77	4,6 (-)	79	3,7	0,90	62,9	0,76
Media - DS	3,1	80	1,7	0,86	68,7	0,8	5,1	60	3,6	0,89	62,6	0,6
Media	4,7	130	2,3	0,88	73,9	0,81	6,6	116	4,8	0,90	66,3	0,73
Media + DS	6,2	180	2,9	0,9	79,2	0,88	8,1	173	6,1	0,91	70	0,84

An=tasa de asimilación neta de carbono, gs= conductancia estomática al vapor de agua, UEA= uso eficiente del agua, NDVI= índice de vegetación de diferencia normalizada, SPAD= índice relativo de clorofila, IntRad= intercepción de la radiación, DS= Desviación estándar.

Tabla Suplementaria 3. Caracterización de la Colección Núcleo de Café de CCC en el municipio de Campoalegre (Huila, Colombia) respecto a las variables 1ra flor., r_i , CV_i , CV_D , Eventos y Prod. El símbolo (+) indica que el valor de la accesión fue clasificado como mayor a la media general, mientras que, el símbolo (-) señala que el valor de la accesión fue clasificado como menor a la media.

ID Accesión (CCC)	La Argentina						Campoalegre					
	1era flor.	r_i	CV_i	CV_D	Eventos	Prod.	1era flor.	r_i	CV_i	CV_D	Eventos	Prod.
16	360,8	0,64	3,4	2,7	8,0 (-)	5,9	339,5	0,85	4 (-)	3,9	5,3	7 (+)
35	370 (+)	0,76 (+)	2,9	2,6	10,7	8,0	341,6	0,77	4,1	3,7	3,3 (-)	2,0
40	364,5	0,56	3,4	2,8	10,0	8,5	337,9	0,56 (-)	4,3	3,9	4,7	2,4
48	358,0	0,55	3,3	2,3	9,7	7,2	339,9	0,83	4,0 (-)	3,8	5,3	4,6
49	367,5	0,60	3,1	2,4	10,0	6,9	339,1	0,79	4,4	4,3 (+)	4,3	2,8
50	348,4 (-)	0,63	3,4	2,8 (+)	9,3 (-)	3,4 (-)	333,8 (-)	0,92 (+)	4,1	4,0	5,7	4,5
66	368,0	0,59	3,1	2,4	10,7	8,4	338,4	0,65 (-)	4,2	3,7 (-)	5,3	1,4 (-)
82	360,8	0,63	3,3	2,7	11,7 (+)	7,8	338,3	0,91 (+)	4,2	4,1	4,7	6,6
115	361,0	0,53	2,9	2,5	11,3 (+)	5,4	342,8	0,61 (-)	4,7 (+)	4,3 (+)	3,3 (-)	0,6 (-)
129	366,4	0,52	3,5	2,6	10,7	5,6	338,0	0,80	4,1	3,8	5,3	5,9
135	355,6	0,51	2,8 (-)	2,0 (-)	10,3	6,7	332,3 (-)	0,66 (-)	4,0	3,7	6,7 (+)	9,4 (+)
156	343,9 (-)	0,58	3,3	2,2 (-)	10,0	6,6	338,6	0,92 (+)	4,2	4,1	5,3	6,9 (+)
165	357,0	0,54	2,7 (-)	2,1 (-)	10,7	10,8 (+)	338,6	0,92 (+)	4,5 (+)	4,5 (+)	4,7	1,7 (-)
168	356,2	0,63	3,0	2,4	10,7	4,0 (-)	337,1	0,87	4,1	3,9	5,7	3,7
176	364,8	0,70 (+)	2,7 (-)	2,3	10,7	10,0	332,4 (-)	0,66 (-)	3,9 (-)	3,5 (-)	5,7	7,5 (+)
178	358,2	0,51	3,5 (+)	2,9 (+)	11,0	4,6 (-)	342,6	0,79	4,1	3,9	5,3	3,6
183	348 (-)	0,50	2,9	2,3	10,0	11,6 (+)	337,6	0,87	4,2	4,1	6,0 (+)	7,4 (+)
187	369,7	0,51	3,3	2,4	10,3	8,2	339,6	0,81	4,3	4,0	4,3	4,8
204	353,3	0,51	3,4	2,4	10,7	4,4 (-)	338,0	0,79	4,1	3,9	5,3	4,2
210	352,6	0,53	2,9 (-)	2,1 (-)	11,3 (+)	6,9	339,0	0,87	4,3	4,0	4,5	1,9
277	360,1	0,64	2,9	2,6	11,0	10,5 (+)	336,5	0,73	4,4	3,9	5,0	2,7
293	360,9	0,43 (-)	3,2	2,7	11,7 (+)	8,8	339,0	0,88	4,1	3,9	6,3 (+)	8,8 (+)
309	362,6	0,57	2,9 (-)	2,2 (-)	11,0	10,3 (+)	329,4 (-)	0,86	4,1	4,0	5,7	3,2
321	377,9 (+)	0,62	3,0	2,5	11,3 (+)	9,4	336,7	0,84	4,1	3,9	5,0	3,0
352	343,9 (-)	0,49	3,3	2,1 (-)	8,7 (-)	7,5	337,3	0,71	4,2	4,0	5,3	2,3
354	367,4	0,62	3,0	2,5	10,0	12,4 (+)	338,0	0,91 (+)	4,3	4,1	5,7	4,9

-> Continúa

-> Continuación

ID Accesión (CCC)	La Argentina						Campoalegre					
	1era flor.	r_i	CV_i	CV_D	Eventos	Prod.	1era flor.	r_i	CV_i	CV_D	Eventos	Prod.
364	349,5 (-)	0,63	3,4	3,1 (+)	11,0	14,3 (+)	341,6	0,82	3,9 (-)	3,6 (-)	5,7	4,7
373	369,1	0,49	3,4	2,4	9,3 (-)	2,2 (-)	338,1	0,87	4,3	4,1	4,0 (-)	2,5
374	368,3	0,59	3,3	2,8 (+)	11,0	2,6 (-)	339,7	0,79	4,1	3,7	5,3	3,4
385	346 (-)	0,48	3,0	2,2 (-)	10,7	6,1	333,8 (-)	0,88	4,2	4,0	6,3 (+)	6,6
403	347,6 (-)	0,54	2,9 (-)	2,1 (-)	11,3 (+)	6,4	338,4	0,70	4,1	3,4 (-)	6,0 (+)	2,3
427	362,0	0,47 (-)	3,2	2,3	11,0	6,0	345,3 (+)	0,78	4,1	3,7	4,0 (-)	3,4
428	366,4	0,61	3,2	2,6	9,7	6,5	338,0	0,88	4,3	4,1	4,3	4,3
436	363,0	0,49	3,8 (+)	2,9 (+)	8 (-)	7,3	338,1	0,92 (+)	4,3	4,2 (+)	3,7 (-)	4,0
459	370,2 (+)	0,42 (-)	3,8 (+)	3,1 (+)	7 (-)	6,7	339,1	0,87	4,6 (+)	4,3 (+)	3,3 (-)	1,2 (-)
461	358,9	0,62	3,4	2,8	9,7	6,0	337,7	0,95 (+)	4,4	4,3 (+)	4,7	3,2
474	372,8 (+)	0,70 (+)	3,4	2,8	10,3	9,5	346,3 (+)	0,70	4,1	3,3 (-)	4,7	2,4
527	353,1	0,55	2,7 (-)	2,2 (-)	11,3 (+)	11,5 (+)	337,4	0,87	4,1	4,0	5,0	8,2 (+)
534	346 (-)	0,62	3,2	2,4	10,0	6,0	342,9	0,68 (-)	4,0 (-)	3,6 (-)	6,3 (+)	6,9 (+)
548	350 (-)	0,60	3,4	2,9 (+)	9,7	5,0	334,3 (-)	0,60 (-)	4,5 (+)	3,7 (-)	4,0 (-)	0,3 (-)
757	368,3	0,66 (+)	3,3	2,8	9,7	10,2 (+)	338,1	0,86	3,8 (-)	3,6 (-)	4,7	5,4
1011	378,4 (+)	0,49	3,5 (+)	2,8 (+)	10,0	8,4	341,2	0,53 (-)	4,5 (+)	3,7	5,0	2,5
1026	372 (+)	0,41 (-)	3,9 (+)	2,3	10,7	5,1	361 (+)	0,61 (-)	4,8 (+)	4,2 (+)	3,0 (-)	0,1 (-)
1045	374,3 (+)	0,35 (-)	3,7 (+)	2,2	10,7	2,5 (-)	336,4	0,78	4 (-)	3,7	5,7	4,0
1053	355,1	0,69 (+)	3,3	2,9 (+)	10,0	6,1	341,0	0,58 (-)	4,6 (+)	3,8	4,3	0,1 (-)
1056	368,3	0,55	3,3	2,5	10,3	9,2	339,4	0,86	4,3	4,1	4,0 (-)	3,6
1074	364,5	0,57	2,9	2,3	11,7 (+)	8,1	337,6	0,86	4,1	4,0	5,0	5,7
1087	368,9	0,48 (-)	3,2	2,1 (-)	11,0	5,6	339,1	0,76	4,3	3,8	4,3	2,6
1106	361,8	0,67 (+)	2,9	2,6	10,3	12,4 (+)	336,9	0,81	4,3	4,1	5,0	7,5 (+)
1146	347,6 (-)	0,68 (+)	2,7 (-)	2,3	10,0	5,1	337,6	0,81	4,1	3,8	6,3 (+)	10,3 (+)
Media - DS	351,7	0,48	2,9	2,2	9,4	4,7	334,4	0,68	4	3,7	4,1	1,7
Media	360,8	0,57	3,2	2,5	10,3	7,4	338,8	0,79	4,2	3,9	5	4,2
Media + DS	369,9	0,65	3,5	2,8	11,3	10,1	343,2	0,9	4,4	4,2	5,8	6,7

1ra flor.= tiempo a primera floración, r_i = sincronía floral, CV_i = coeficiente de variación temporal individual, CV_p = coeficiente de variación temporal poblacional, Eventos= número de eventos florales, Prod.= producción de café cereza por árbol, DS= Desviación estándar.

Tabla Suplementaria 4. Caracterización de la calidad en taza de las accesiones que conforman la Colección Núcleo de Café de CCC en los municipios de Campoalegre y La Argentina (Huila). Puntuación total SCA (*Specialty Coffee Association*).

ID Accesoión (CCC)	La Argentina	Campoalegre
66	85,50	82,33
293	85,38	84,00
615	85,17	82,81
277	85,00	80,68
16	84,85	81,88
527	84,56	82,06
548	84,50	80,13
178	84,40	80,00
1074	84,33	83,17
1146	84,25	80,92
1106	84,17	82,33
428	84,10	82,92
168	84,00	80,50
183	84,00	82,25
176	83,75	83,33
321	83,70	80,00
165	83,50	79,13
436	83,50	82,88
474	83,42	80,25
373	83,25	81,75
459	83,25	82,75
82	83,00	83,17
1053	83,00	79,50
129	82,82	81,42
309	82,67	80,50
1087	82,60	80,75
49	82,33	80,38
156	82,33	82,00
48	82,25	80,56
354	82,19	83,33
187	81,94	82,69

-> Continúa

-> Continuación

ID Accesión (CCC)	La Argentina	Campoalegre
1045	81,75	81,08
115	81,58	80,38
210	81,58	79,25
135	81,50	83,00
1056	81,50	79,38
35	81,42	80,08
50	81,33	80,00
204	81,17	79,94
534	80,88	82,38
364	80,83	80,00
374	80,67	82,83
427	80,58	79,83
352	80,50	80,13
403	80,50	80,13
385	80,33	83,42
757	80,33	79,33
461	80,05	82,63
1026	79,00	S/A
1011	73,67	S/A

Tabla Suplementaria 5. Evaluación fitosanitaria de las accesiones que conforman la Colección Núcleo de Café de CCC establecidos en los municipios de Campoalegre y La Argentina (Huila). Los resultados corresponden a dos evaluaciones realizadas en el mes de marzo de 2019 y 2021, para los porcentajes de infestación de dos insectos plaga: minador del café (*L. coffeella*) y araña roja (*O. yothersi*) y el porcentaje de infección por *Phoma spp*.

Localidad	Campoalegre						La Argentina						
	E2VAL		1		2		1		2		1		2
ID Accesión (CCC)	<i>L. coffeella</i>		<i>O. yothersi</i>		<i>Phoma spp</i>		<i>L. coffeella</i>		<i>O. yothersi</i>		<i>Phoma spp</i>		
16	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,5	0,0	
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,3	0,0	
49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	
50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
66	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,3	0,0	
82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

-> Continúa

Localidad	Campoalegre						La Argentina					
	E2VAL		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	ID Accesoión (CCC)	<i>L. coffeella</i>		<i>O. yothersi</i>		<i>Phoma spp</i>		<i>L. coffeella</i>		<i>O. yothersi</i>		<i>Phoma spp</i>
115	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
129	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
135	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
156	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0
165	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,9	0,0
168	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
176	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
178	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
183	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,6	0,0
187	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
204	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
277	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
293	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0
309	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
321	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
352	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
354	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
364	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
373	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0
374	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
385	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
403	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
427	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
428	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
436	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
459	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
461												
474	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
527	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
534	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
548	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
757	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0
1026	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1045	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1053	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
1056	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1074	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
1087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0
1106	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1146	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0

Tabla Suplementaria 6. Evaluación de las accesiones que conforman la Colección Núcleo de Café de CCC establecidos en los municipios de Campoalegre y La Argentina (Huila) frente al porcentaje de infestación por *M. velezangeli* (chamusquina). Los resultados corresponden a dos evaluaciones realizadas en el mes de marzo de 2019 y 2021.

Localidad	Campoalegre				La Argentina			
	1		2		1		2	
	Infestación por Inforestación	EE	Infestación por Inforestación	EE	Infestación por Inforestación	EE	Infestación por Inforestación	EE
16	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,5	0,0	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
49	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,0	0,0
66	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	1,1
82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
115	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
129	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	2,7	0,0	0,0
135	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8
156	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0
165	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8	0,0	0,0
168	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	1,9	0,8	0,8
176	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	1,9	1,6
178	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
183	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
187	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	2,4	0,0	0,0
204	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
210	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
277	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
293	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	0,0
309	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	5,5	0,0	0,0
321	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
352	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
354	0,0	0,0	0,0	0,0	6,7	3,8	0,0	0,0
364	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
373	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
374	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	2,3	0,0	0,0
385	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	2,4	0,0	0,0
403	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0
427	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	3,1	0,0	0,0
428	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
436	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0
459	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
461	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
474	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
527	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	1,7
534	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
548	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0
757	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	1,8	0,0	0,0
1011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1026	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1045	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	5,5	0,0	0,0
1053	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1056	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	3,1	0,0	0,0
1074	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1087	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1106	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	4,5	0,0	0,0
1146	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,9	0,9

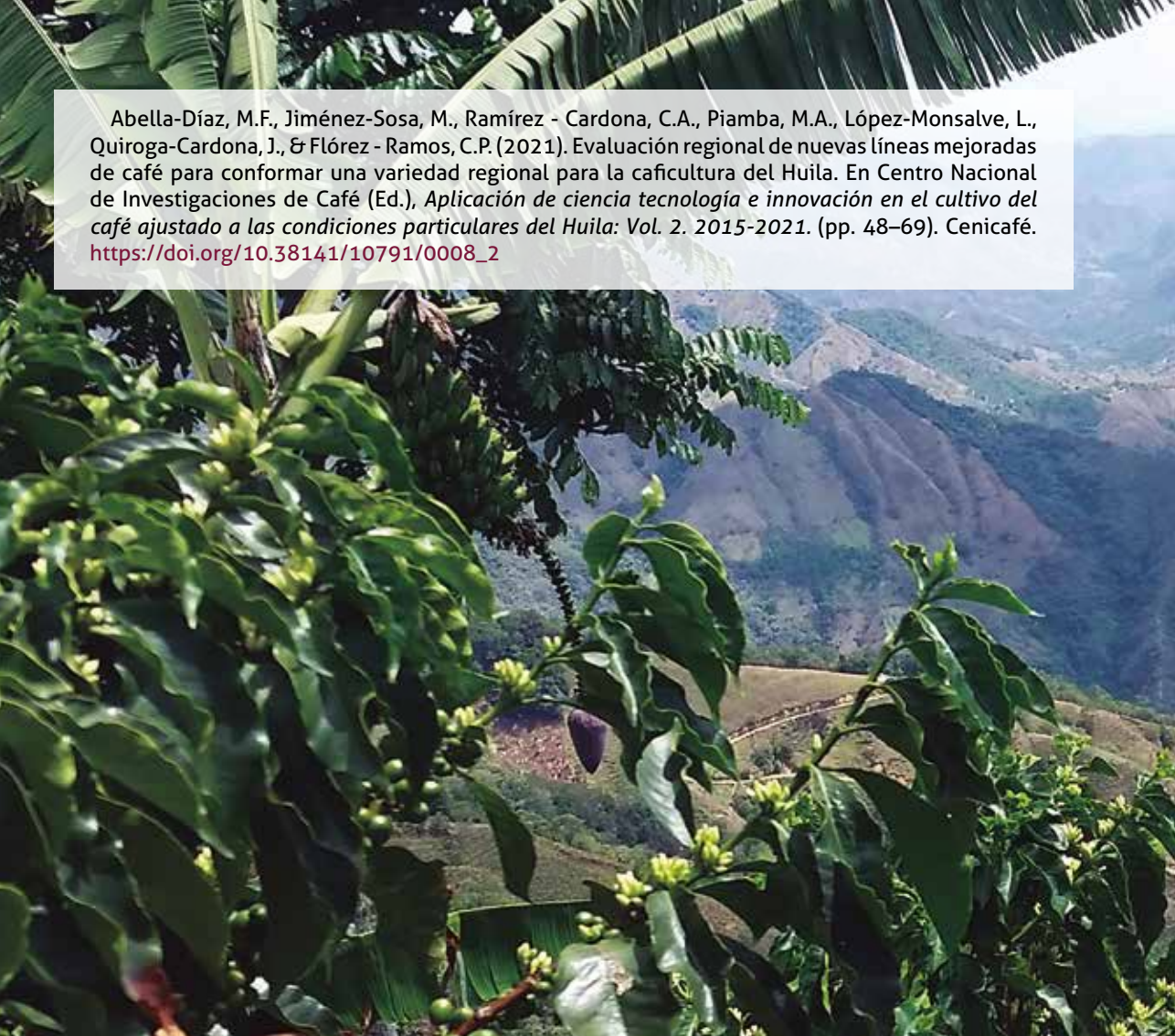


2



**Evaluación regional de nuevas líneas
mejoradas de café para conformar
una variedad regional para la
caficultura del Huila**

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



Abella-Díaz, M.F., Jiménez-Sosa, M., Ramírez - Cardona, C.A., Piamba, M.A., López-Monsalve, L., Quiroga-Cardona, J., & Flórez - Ramos, C.P. (2021). Evaluación regional de nuevas líneas mejoradas de café para conformar una variedad regional para la caficultura del Huila. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila: Vol. 2. 2015-2021.* (pp. 48–69). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0008_2

Marlio F. Abella Díaz
Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0001-5561-4913>

Manuel A. Piamba
Auxiliar de Investigación
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0001-7557-4517>

Luisa F. López Monsalve
Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0002-9534-0053>

Mauricio Jiménez Sosa
Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0001-5378-840X>

Carlos A. Ramírez Cardona
Asistente de Investigación
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0003-4119-2806>

Julio Quiroga Cardona
Investigador Científico I
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0002-5004-2423>

Claudia P. Flórez Ramos
Investigador Científico III
Disciplina de Mejoramiento

<https://orcid.org/0000-0003-2859-3496>







INTRODUCCIÓN

Entre 1967-1968, el Programa de Mejoramiento Genético (PMG) de Cenicafé inició una serie de cruzamientos con el fin de desarrollar variedades mejoradas de café con resistencia durable a la roya del cafeto, altamente productivas, con el perfil de taza característico del café de Colombia, excelentes características físicas del grano, uniformidad fenotípica razonable y adaptabilidad a las características agroclimáticas, propias de la zona cafetera colombiana. Fruto de estas investigaciones, en 1982, se liberó la variedad Colombia bajo el concepto de variedad compuesta, lo cual significa que está constituida por la mezcla de diferentes líneas avanzadas, que comparten excelentes atributos agronómicos y al mismo tiempo poseen diversas combinaciones de factores de resistencia contra la roya.

En este tipo de variedades, cuando alguna variante del hongo ataca una o más líneas de la variedad compuesta, los otros componentes permanecen sanos, pues tienen combinaciones de genes de resistencia no compatibles con la nueva variante del patógeno. Las variedades compuestas ofrecen también otro factor de protección, puesto que interponen barreras frente a la dispersión del patógeno. De esta manera, plantas susceptibles a la enfermedad pueden permanecer sanas (Figura 1).

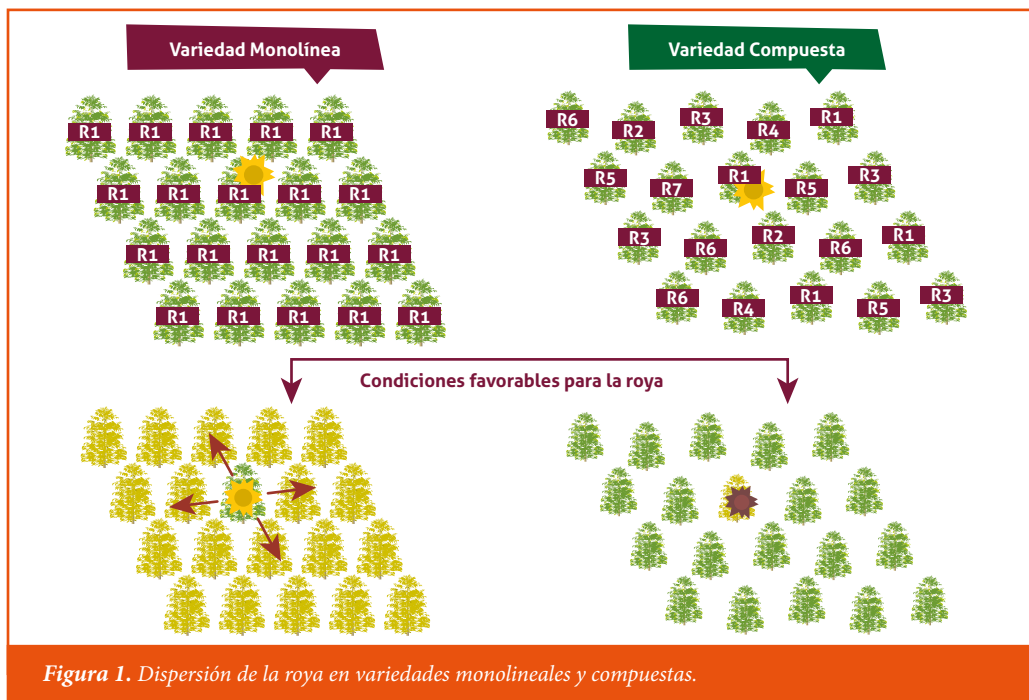


Figura 1. Dispersión de la roya en variedades monolíneas y compuestas.

Utilizando esta misma estrategia, Cenicafé liberó en 2002 la variedad Tabi; entre 2005-2006 entregó las variedades Castillo® General y sus componentes Regionales; en 2016, liberó Cenicafé 1; y en el 2017, las variedades Castillo® Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur.

Sin embargo, la roya constituye una amenaza permanente para los cafetales pues es ocasionada por un hongo fitopatógeno obligado (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.), lo que significa que su supervivencia depende única y exclusivamente de la planta de café. Para poder sobrevivir, estos hongos poseen una amplia gama de mecanismos de adaptación que, dadas las condiciones de presión, les permite producir individuos genéticamente diferentes, cuyas descendencias originan nuevas variantes (patotipos), capaces de vencer los genes de resistencia o las combinaciones de estos, presentes en las variedades comerciales de café resistentes a esta enfermedad.

En los últimos diez años, el parque productivo cafetero de Colombia se transformó de manera significativa incrementando el área sembrada en variedades resistentes de un 31% en 2009, a un 83% en 2020. En consecuencia, hay una mayor presión de selección que favorece las razas de roya compatibles con las líneas componentes de las variedades comerciales de café.

Hasta la fecha se han identificado diez genes de resistencia a la roya del cafeto, los cuales se designan como SH1 – SH10. Estos genes provienen de diferentes fuentes, tales

como *C. canephora*, *C. liberica* y otras se encuentran en materiales silvestres y cultivados de *C. arabica*.

En los años 60, el CIFC (*Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro*, Portugal) comenzó un programa de cruzamientos con el objetivo de transferir los genes de resistencia a roya provenientes del Híbrido de Timor (HdT) a las variedades arábicas tradicionales. Las plantas (F2) seleccionadas por poseer resistencia a todas las razas conocidas de roya fueron donadas a países productores de café. Es así como a partir de los híbridos de Caturra x HdT 832/1(HW26) y Villa Sarchí x HdT 832/2 (H361), desarrollados en el CIFC dieron origen a las poblaciones conocidas como Catimores y Sarchimores, respectivamente. Paralelamente, en Colombia se desarrollaron poblaciones a partir del cruzamiento entre Caturra x HdT1343 y en Brasil de Catuaí x HdT2570. En su conjunto, todas estas poblaciones dieron origen a las variedades resistentes a la roya que actualmente se siembran en América.

En consecuencia, actualmente, la fuente de resistencia a la roya presente en las variedades comerciales utilizadas en Colombia, provienen del Híbrido de Timor 1343. Conscientes de la importancia de mantener un parque cafetero productivo con resistencia durable a la roya, el Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé ha desarrollado un esquema periódico de cruzamientos, mediante el cual se han generado diferentes poblaciones en las que están incorporadas todas las fuentes de resistencia a la roya conocidas hasta la fecha: *C. arabica*, *C. liberica*, diferentes accesiones del Híbrido de Timor y *C. canephora*.

Esto significa que Cenicafé cuenta con poblaciones mejoradas en diferentes estados de avance generacional (F1-F7), que una vez alcancen la óptima fijación de las características por las cuales han sido mejorados (>F4), deben ir a pruebas de adaptación bajo las diferentes condiciones de la caficultura colombiana.

A partir de 2013, se inició la evaluación regional de líneas avanzadas del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, llevando más de 200 progenies a ocho departamentos cafeteros del país (Figura 2). En 2015, con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías – Gobernación del Huila, el Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila (FNC), se dio inicio al proyecto “Aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila”. Uno de los compromisos establecidos dentro de este proyecto, fue la evaluación regional de líneas avanzadas con potencial para conformar variedades mejoradas de café. De esta manera, se establecieron 45 líneas avanzadas en Pitalito, Acevedo, Garzón, La Plata y Algeciras, municipios representativos de la caficultura Huilense.

Es así, como el departamento del Huila participó con el 43% de las pruebas regionales a nivel de país. Los resultados obtenidos en este proyecto fueron integrados a los alcanzados en los otros nueve municipios evaluados en Colombia, lo cual permitió consolidar la selección de 13 líneas de café resistentes a la roya, con alta producción, excelentes atributos de calidad física del grano y sensorial de la bebida, así como adaptadas a toda la geografía cafetera colombiana.

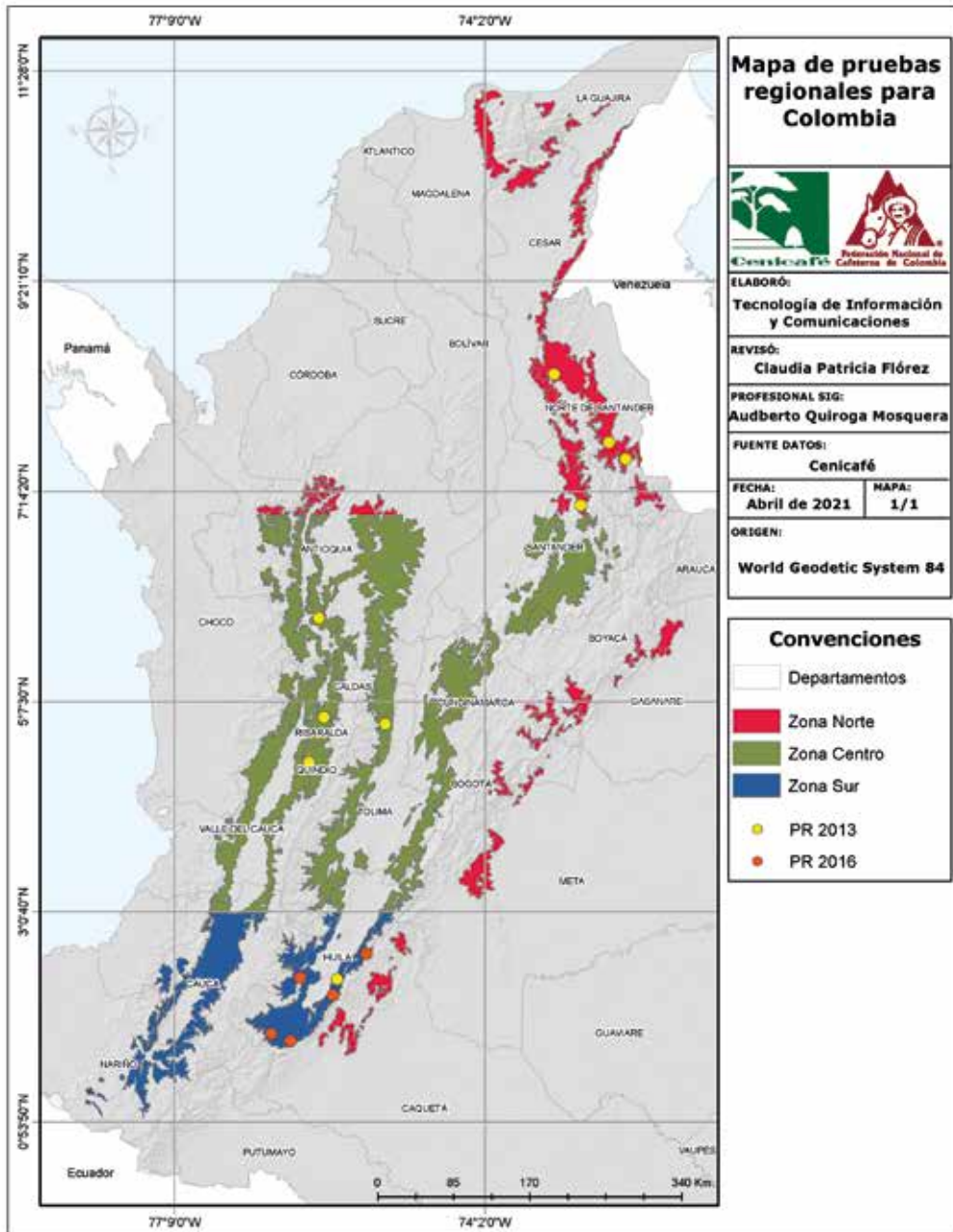


Figura 2. Localización de las pruebas regionales establecidas en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Antioquia, Caldas, Quindío, Tolima, Huila, entre los 900 - 1.700 m de altitud PR: Pruebas Regionales..

Metodología

Localización y material vegetal

Se llevó a cabo la prueba regional en cinco ambientes representativos del departamento del Huila durante cinco años (2016-2021). La prueba se estableció en los municipios de Pitalito, Acevedo, Garzón, La Plata y Algeciras, distribuidas en altitudes entre los 1.300 – 1.700 m. Las cinco localidades seleccionadas están clasificadas en tres zonas agroecológicas (ZAE1, ZAE5 y ZAE6), de acuerdo con la zonificación agroecológica cafetera previamente establecida para el departamento de Huila (Salazar et al., 2019) (Tabla 1, Figura 3). Las condiciones climáticas de cada localidad se describen en la Tabla 2.

En cada lote experimental se establecieron 45 líneas avanzadas del PMG, con tres orígenes diferentes y cuatro testigos (Castillo El Tambo®, dos líneas componentes Castillo® y Caturra sin control de roya) (Tabla 3).

Tabla 1. Localización de los lotes experimentales donde fueron establecidas las cinco pruebas regionales del departamento del Huila. ZAE: Zona agroecológica.

Municipio	Vereda	Finca	N	W	Altitud (m)	Zona Agroecológica
Garzón	Los Pinos	El Rosal	2°10'28.12"	75°33'31.37"	1.546	5
Pitalito	Guandinosa	Villa Sofía	1°47'06.70"	76°10'38.40"	1.672	6
La Plata	El Jazmín	Bella Vista	2°20'59.96"	75°53'12.77"	1.670	1
Algeciras	Las Brisas	La Cabaña	2°35'32.69"	75°13'29.58"	1.548	1
Acevedo	Versalles	La Guamera	1°42'38.90"	75°59'07.60"	1.333	6

Tabla 2. Condiciones climáticas de cada localidad: PIT: Pitalito, ACE: Acevedo, GAR: Garzón, LPL: La Plata, ALG: Algeciras.

	Precipitación (mm)					Temperatura Promedio (°C)					Brillo Solar Promedio (h)				
	PIT	AC	GAR	LPL	ALG	PIT	AC	GAR	LPL	ALG	PIT	AC	GAR	LPL	ALG
Ene.	64	39	47	111	34	19,7	22,3	20,2	20,2	20,5	150	150	135	151	136
Feb.	104	83	77	141	64	19,7	22,3	20,2	20,2	20,6	118	115	106	120	109
Mar.	156	147	157	169	138	19,6	22,0	20,1	20,2	20,5	104	101	97	112	96
Abr.	222	206	181	172	168	19,4	21,9	20,0	20,1	20,4	107	108	92	106	91
May.	236	233	192	163	166	19,3	21,8	19,9	20,0	20,4	118	124	107	117	105
Jun.	251	260	164	113	132	18,8	21,3	19,4	19,6	20,1	116	121	106	116	106
Jul.	236	235	130	94	106	18,3	20,9	19	19,3	19,8	120	122	106	122	108
Ago.	181	216	77	45	73	18,5	21,2	19,3	19,5	20,1	125	125	112	128	116
Sep.	141	155	73	52	91	19,0	21,7	19,8	19,8	20,5	128	129	115	126	116
Oct.	152	119	157	173	165	19,4	22,0	19,9	19,9	20,4	130	135	113	123	112
Nov.	151	105	159	219	188	19,4	21,9	19,9	19,8	20,2	129	131	106	117	99
Dic.	109	77	98	181	109	19,4	22,0	19,9	19,9	20,1	146	147	125	141	119
	2.003	1.875	1.512	1.633	1.434	19,2	21,8	19,8	19,9	20,3	1.491	1.501	1.320	1.479	1.313

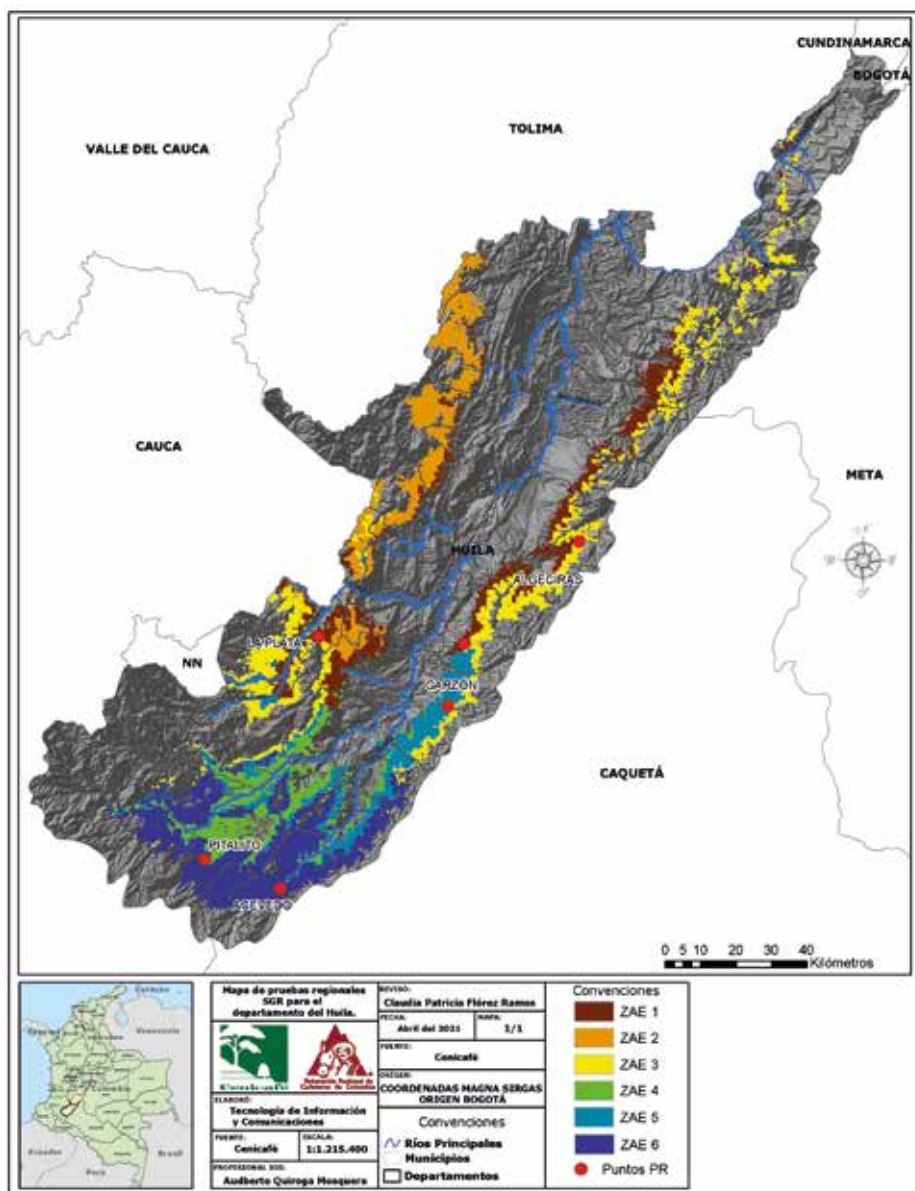


Figura 3. Ubicación de los municipios cafeteros y zonas agroclimáticas en los cuales se establecieron las pruebas regionales en el departamento del Huila bajo el proyecto del SGR-Huila. PR: Prueba Regionales.

Cada lote experimental se estableció bajo un diseño láctice cuadrado 7x7 balanceado, con ocho repeticiones y siete bloques por repetición. Cada bloque estuvo conformado por siete parcelas, cada una con siete plantas, de cada línea mejorada evaluada o testigo (cinco efectivas y dos como borde) (Figura 4). Se estableció una distancia entre plantas de 1,0 m y entre surcos 1,5 m, para un área efectiva por planta de 1,5 m².

Tabla 3. Descripción de las poblaciones que dieron origen a las líneas avanzadas evaluadas en las pruebas regionales establecidas en el Huila en el proyecto del SGR-Huila.

Población	Descripción	Interés	# Líneas en PR SGRHuila
Caturra x C. canephora	Población arabizada originada a partir del cruzamiento de Caturra con la variedad de <i>C. canephora</i> BP.358. Las variedades de <i>C. canephora</i> de la serie BP llegaron a Cenicafé provenientes de la colección del CATIE (Costa Rica), pero fueron desarrolladas por el Programa de Mejoramiento de Café de Java. Adicionalmente, fueron evaluadas y seleccionadas en Colombia por sus buenos atributos agronómicos.	Fuentes de resistencia a la roya diferentes a las de las variedades comerciales actuales. Productividad.	14
Caturra x HdT1343	Población que dio origen a la variedad Castillo®.	Resistencia al CBD, productividad.	19
Cruces complejos	Población que involucra cruzamientos entre progenitores provenientes de Etiopía y Sudán con Caturra, Catuai, selecciones de Borbón, <i>C. canephora</i> (BP.358), HdT.	Resistencia a la roya, resistencia al CBD, porte del árbol.	12

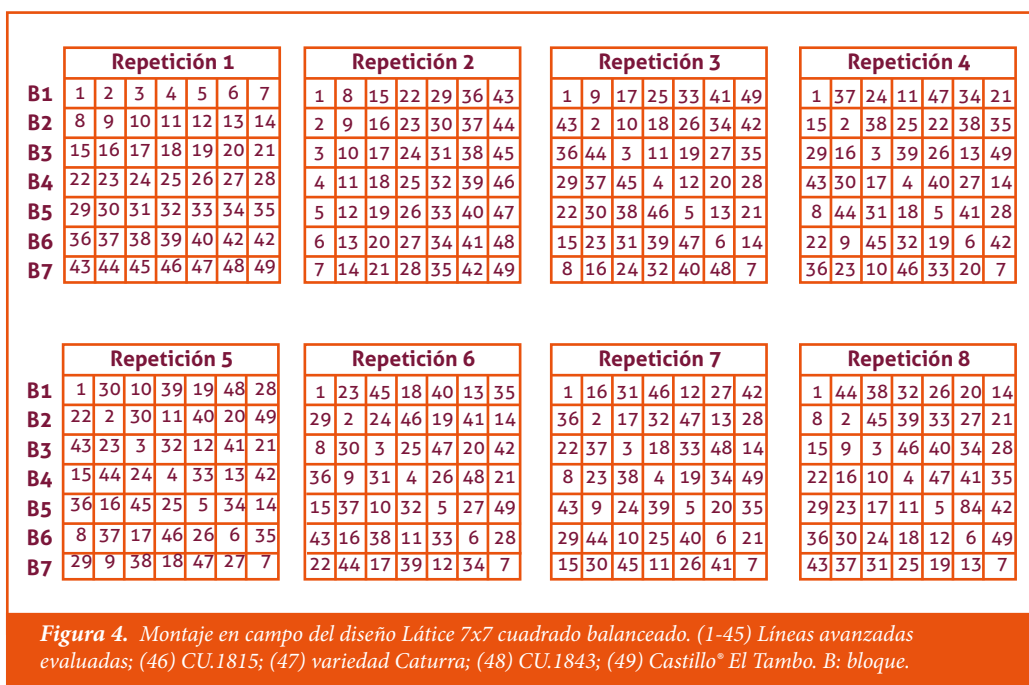


Figura 4. Montaje en campo del diseño Látime 7x7 cuadrado balanceado. (1-45) Líneas avanzadas evaluadas; (46) CU.1815; (47) variedad Caturra; (48) CU.1843; (49) Castillo® El Tambo. B: bloque.

El manejo agronómico del cultivo durante el ciclo productivo evaluado se sustentó en la implementación de las prácticas integradas para el control de arvenses, plagas y enfermedades recomendadas por Cenicafé. El plan nutricional se realizó de acuerdo con los resultados de los análisis de fertilidad del suelo de cada lote, para la etapa de levante con dosis determinadas por planta, y a partir del inicio de la etapa reproductiva, con la cantidad de fertilizante recomendada por hectárea.

Variables evaluadas

En todos los árboles efectivos de la parcela, a los 12 y 24 meses, se registraron variables de crecimiento altura de la planta (cm), medida desde la base del tallo hasta el ápice de la planta; diámetro de la copa (cm), medida en sentido contrario a la dirección del surco de siembra y número de cruces por planta.

Se evaluó roya en los árboles efectivos de cada parcela a partir de los 24 meses, dos evaluaciones por año, en los meses de marzo-abril y agosto-septiembre. La evaluación se hizo en una rama del tercio productivo del árbol, con más de diez hojas presentes por árbol, donde se determinó la incidencia de roya, medida como la cantidad de hojas con roya esporulada dividida entre el total de hojas presentes, multiplicado por 100. Paralelamente, a cada hoja con roya se le estimó el porcentaje de severidad o el área que cubren las lesiones y pústulas con base en el Diagrama de Área Estándar (DAE) (López et al., 2018).

Se registró la producción por parcela, por pase de cosecha (kg/pase/parcela de café cereza) durante tres cosechas principales.

En el pico principal de la segunda y tercera cosecha se determinó la calidad física del grano por parcela, registrando el porcentaje de granos caracol, triángulo y monstruo, calculado a partir de muestras de 400 granos de café pergamino seco (cps) y el porcentaje de café supremo calculado a partir de muestras de 100 g de café almendra.

Para la determinación de la calidad sensorial de la bebida, en el pase pico de la primera-segunda cosecha se tomó una muestra de 3-6 kg de café cereza por parcela (progenie), que estuvieran en estado 5-6 de maduración, de acuerdo con la carta de color recomendada por Cenicafé (2020). Seguidamente, se benefició la muestra por vía húmeda, se fermentó enzimáticamente (10 kg café despulpado: zymucil 1 cc /100 mL de agua) y secó al sol. Una vez las muestras alcanzaron una humedad entre 10%-12%, se tomaron 500 g de cps, el cual se procesó y envió a Cenicafé (Manizales, Caldas). En Cenicafé, se trilló la muestra y posteriormente se entregaron 300 g de café almendra al Panel de Catación para su análisis sensorial, para calificar diez atributos organolépticos, de acuerdo con el protocolo establecido por la SCA (*Specialty Coffee Association*). Cada valor de cada atributo corresponde al promedio de mínimo tres catadores con certificación Q-Grader. Para establecer el rango de calidad de la taza, se sumó el puntaje individual de los diez atributos, obteniendo el puntaje total, donde se clasificaron como especiales las muestras con un puntaje total superior a 80,00 y dentro de los cafés especiales se clasificaron como muy buenas aquellas muestras que obtuvieron entre 80,00-83,99 y excelentes con más de 84,00 puntos SCA.

Los criterios para la selección de las líneas mejoradas con potencial para hacer parte de una variedad de café se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Criterios utilizados en cada variable evaluada como parámetro de selección de líneas con potencial para conformar variedades mejoradas de café.

Característica	Criterio de selección
Roya	Incidencia: menor o igual al 5,0% Severidad: menor o igual al 0,2%
Crecimiento: altura de la planta, diámetro de copa, número de cruces	Promedios estadísticamente iguales o menores a los observados en los testigos comerciales
Producción	Producción acumulada durante tres cosechas estadísticamente igual al testigo comercial FNC (Castillo®).
Calidad física del grano	Porcentaje de grano supremo: igual o superior al de la variedad testigo comercial FNC. Porcentaje de granos caracol, triángulo o monstruo, igual o menor al de la variedad testigo comercial FNC.
Calidad sensorial de la bebida	Puntaje SCA igual o superior a 80,00 puntos. Con puntaje individual de los atributos fragancia/aroma, sabor, acidez y cuerpo igual o superior a 7,25. Libre de descriptores sensoriales negativos.

Análisis de la información

Para cada localidad, se obtuvo la producción acumulada de cada tratamiento (línea), en cada bloque y grupo. Para las variables de crecimiento se estimó el promedio de longitud del tallo, diámetro de la copa y número de cruces (variables complementarias).

En cada localidad, se estimó el promedio y variación para la producción acumulada y crecimiento. Con el diseño Láctice 7x7 balanceado, se evaluó en cada localidad, el efecto de tratamientos. Este análisis no sugirió la corrección de promedios y evidenció el efecto de los tratamientos.

En cada localidad, se comparó cada tratamiento con cada uno de los testigos (46, 47, 48 y 49), de acuerdo con el valor de diferencia mínima significativa al 5% obtenido en el análisis de varianza.

Resultados

Las líneas componentes de las variedades mejoradas desarrolladas por Cenicafé-FNC deben poseer cinco características, que son: **(1)** resistentes a la roya, **(2)** altamente productivas, **(3)** con calidad física del grano superior; **(4)** con la calidad en taza por la cual se reconoce al café de Colombia y **(5)** con amplia adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana. Es así como se analizó cada una de estas variables, en los cinco ambientes evaluados en el Huila, y se comparó con el resultado obtenido para estas mismas líneas en las pruebas regionales realizadas en otros departamentos cafeteros del país, con la finalidad de lograr una selección más rigurosa.

Se realizaron cuatro evaluaciones de roya entre septiembre de 2019 a marzo de 2021. Al analizar el comportamiento de la roya por localidad, se observó una mayor incidencia (I) y severidad (S) en Algeciras (I: 24,3±3,1; S: 0,4±0,1) y La Plata (I: 18,3±2,5; S: 0,3±0,1), mientras que en las otras tres localidades la incidencia no superó el 10,0% y la severidad el 0,09% (Pitalito I: 6,9±2,1, S: 0,09±0,04; Acevedo I: 4,1±1 S: 0,07±0,023; Garzón I: 9,4±1,9 S: 0,09±0,03). Al monitorear la respuesta de las líneas mejoradas evaluadas frente a los testigos comerciales, se observó una respuesta diferencial que permitió agruparlos de manera concluyente (Tabla 5).

Tabla 5. Evaluación de incidencia y severidad en genotipos evaluados en las pruebas regionales realizadas en cinco municipios cafeteros del departamento del Huila.

	Roya				Calificación
	Incidencia (%)		Severidad (%)		
Líneas mejoradas	7,3	B	0,18	B	Resistente
CU.1815	11,4	B	0,25	B	Resistente
CU.1843	13,5	B	0,29	B	
Castillo® El Tambo	18,4	B	0,48	B	
Caturra	34,3	A	1,91	A	Susceptible

CU.1815 y CU.1843: líneas componentes de variedades comerciales FNC. Castillo® El Tambo: testigo resistente. Letras distintas implican diferencias entre promedios de acuerdo con la prueba de Duncan al 5%.

Teniendo presente los criterios de selección previamente establecidos para la incidencia ($\leq 5\%$) y severidad ($\leq 0,02\%$) de roya, se seleccionan 15 líneas mejoradas (33%) (Tabla 6). De estas, el 60% correspondieron a líneas originadas a partir de

cruces interespecíficos con *C. canephora*, el 33% fueron líneas provenientes de cruces complejos y 9% correspondieron a CatxHdT1343 (Tabla 6). Pese a que, en las evaluaciones realizadas en el Huila, la línea MEG0232 # 504 (TTO 39) fue seleccionada como resistente, los resultados obtenidos en las evaluaciones de roya realizadas en los departamentos de Caldas, Quindío y Tolima (Prueba Regional 2013), indicaron la susceptibilidad de esta línea, por lo cual debió ser descartada por este parámetro.

Tabla 6. Evaluación de roya en líneas mejoradas del PMG de Cenicafé, promedio de cuatro evaluaciones (2019-2021) en cinco localidades (Pitalito, Acevedo, Garzón, La Plata y Algeciras).

Población	Descripción	Tratamiento	Roya					
			Incidencia (%)			Severidad(%)		
Caturra x HdT 1343	MEG313#194	1	9,7	±	1,4	0,1	±	0,03
	MEG313#195	2	18,8	±	2,6	0,2	±	0,07
	MEG313#204	3	20,5	±	2,5	0,2	±	0,05
	MEG313#205	4	7,1	±	1,5	0,1	±	0,08
	MEG314#649	5	7,5	±	1,4	0,1	±	0,03
	MEG314#655	6	18,7	±	2,9	0,2	±	0,06
	MEG314#643	7	25,2	±	3,0	0,7	±	0,19
	MEG314#1155	8	18,3	±	2,5	0,2	±	0,05
	MEG315#1284	9	20,6	±	2,6	0,2	±	0,05
	MEG315#1289	10	14,7	±	2,6	0,1	±	0,03
	MEG314#937	11	24,7	±	3,2	0,3	±	0,08
	MEG315#1449	12	4,4	±	1,0	0,1	±	0,04
	MEG314#764	13	16,8	±	2,8	0,1	±	0,03
	MEG315#1361	14	20,1	±	2,9	0,3	±	0,09
	MEG315#1366	15	19,8	±	2,5	0,1	±	0,02
	MEG313#198	22	19,4	±	2,1	0,2	±	0,04
	MEG314#767	26	20,3	±	2,6	0,3	±	0,05
	MEG313#573	30	24,2	±	2,4	0,4	±	0,07
MEG314#1023	38	9,4	±	1,4	0,1	±	0,03	
Caturra x <i>C. canephora</i>	MEG665#510	16	0,4	±	0,4	0,0	±	0,00
	MEG665#76	17	1,7	±	0,6	0,0	±	0,01
	MEG665#49	18	0,8	±	0,7	0,1	±	0,05
	MEG665#612	19	6,4	±	1,7	0,1	±	0,05
	MEG665#621	20	7,1	±	1,3	0,1	±	0,04
	MEG665#622	21	11,4	±	1,3	0,4	±	0,10
	MEG665#513	23	0,4	±	0,3	0,0	±	0,00
	MEG665#275	24	0,1	±	0,1	0,0	±	0,00
	MEG665#691	25	1,7	±	0,5	0,0	±	0,01
	MEG667#615	27	2,3	±	1,4	0,0	±	0,00
MEG667#660	28	0,8	±	0,4	0,0	±	0,00	
MEG667#892	29	0,7	±	0,4	0,0	±	0,02	
Cruces Complejos	MEG0232#53	31	0,4	±	0,3	0,0	±	0,00
	MEG0232#333	32	4,6	±	1,0	0,1	±	0,02
	MEG0232#522	33	5,1	±	1,1	0,0	±	0,01
	MEG0232#604	34	25,7	±	2,5	0,4	±	0,11
	MEG0232#329	35	22,8	±	2,2	0,1	±	0,02
	MEG0232#66	36	3,3	±	1,0	0,0	±	0,01
	MEG0232#958	37	4,6	±	1,0	0,0	±	0,01
MEG0232#504	39	0,7	±	0,4	0,0	±	0,00	

-> Continúa

-> Continuación

Población	Descripción	Tratamiento	Roya					
			Incidencia (%)			Severidad(%)		
Cruces Complejos	MEG0232#405	40	9,2	±	1,5	0,2	±	0,05
	MEG0232#548	41	12,9	±	1,6	0,4	±	0,10
	MEG0232#572	42	9,8	±	1,5	0,0	±	0,01
	MEG0232#155	43	15,0	±	2,2	0,1	±	0,02
	MEG0232#291	44	18,5	±	2,7	0,2	±	0,04
	MEG0232#585	45	20,3	±	2,1	0,2	±	0,04
Testigos	CU.1815	46	17,1	±	2,1	0,2	±	0,07
	CU.1843	48	21,7	±	2,9	0,3	±	0,06
	Castillo® El Tambo	49	25,8	±	2,6	0,4	±	0,08
	Caturra	47	45,8	±	1,5	1,7	±	0,19

Las variables de crecimiento evaluadas fueron la base para determinar el porte del árbol, con lo que cada línea se clasificó como de porte tipo Caturra (bajo), tipo Castillo® (intermedio) o porte alto (> Castillo®). Estas variables son altamente influenciadas por el ambiente, lo que significa que hay una gran variación entre las localidades. Bajo esta consideración, para que una línea fuera de un porte específico debería tener la misma clasificación en al menos tres de las cinco localidades evaluadas (Tabla 7).

De las 15 líneas seleccionadas por ser resistentes a la roya, seis fueron clasificadas como tipo Caturra, ocho como tipo Castillo y una de porte alto (Tabla 7). Por tal razón, pese a que la línea MEG667#660 fue clasificada como resistente a la roya, debió ser descartada por presentar porte más alto que la variedad Castillo® (Tabla 7).

La temperatura es el factor más importante, que induce el desarrollo de una planta a través de sus diferentes fases de crecimiento. Dentro de las localidades evaluadas en Acevedo, las plantas presentaron un crecimiento más exuberante, contrario a lo observado en Pitalito. Esto pudo deberse a una mayor cantidad de unidades térmicas acumuladas en Acevedo (4.239°C día⁻¹), frente a las acumuladas en Pitalito (3.315°C día⁻¹).

Tabla 7. Descripción de las variables de crecimiento registradas en árboles de 24 meses, de las líneas seleccionadas por su resistencia a la roya. altura (ALT), diámetro de copa (DCOP) y número de cruces (#CRUC) y su clasificación de acuerdo con el tipo de árbol. TCast: tipo Caturra; TCast: tipo Castillo y >Cast: porte más alto que Castillo.

Población	Genotipo	TTO	Algeiras				La Plata				Garzón				Acevedo				Pitalito				Clasificación (# loc)		
			ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	Tcat	TCast	>Cast
			Caturra x HdT1343	MEG315#1449	12	105,2	2,9	106,2	22,3	106,2	2,9	99,0	23,0	120,9	3,6	124,8	25,1	123,2	3,4	116,4	23,2	108,7	3,1	106,1	23,6
MEG665#510	16	112,2		2,8	102,8	22,4	119,2	3,0	107,9	24,7	137,2	3,9	136,7	26,6	135,5	3,5	119,2	24,4	121,3	3,3	115,3	24,5	1	4	
MEG665#76	17	102,6		2,6	97,5	22,2	108,3	2,9	97,6	24,2	125,5	3,7	124,6	26,8	117,5	2,8	102,0	22,7	119,6	3,8	114,1	25,7	2	3	
Caturra x C. canephora	MEG665#49	18	107,5	2,8	108,2	23,4	116,8	3,1	102,2	24,8	133,3	4,0	131,4	25,7	143,8	3,8	129,4	28,2	114,4	3,3	118,1	24,8	1	4	
	MEG665#513	23	97,4	2,7	98,1	23,4	97,4	2,9	96,8	23,8	129,4	3,8	121,2	27,6	129,6	3,4	126,0	26,2	109,1	3,4	115,2	26,7	4	1	
	MEG665#275	24	98,8	2,6	100,5	21,8	107,2	2,9	107,6	22,9	136,1	3,8	146,3	25,7	130,6	3,3	127,3	24,9	105,6	3,1	106,8	22,8	3	2	
	MEG665#691	25	108,5	2,9	107,8	21,7	112,2	3,0	106,2	23,7	133,1	3,9	139,9	26,7	141,5	3,7	136,5	25,7	110,2	3,1	120,3	21,7	2	3	
	MEG667#615	27	111,8	3,1	115,7	22,7	114,7	3,3	109,8	23,3	139,0	4,0	148,4	27,0	133,8	3,6	126,3	24,2	116,2	3,4	117,3	23,7	1	3	1
	MEG667#660	28	133,0	3,0	122,4	26,6	128,2	3,0	108,6	25,7	138,8	3,5	119,8	27,3	139,6	3,3	119,4	25,9	128,1	3,2	124,7	26,4		2	3
MEG667#892	29	116,3	3,0	114,0	23,8	107,8	2,8	99,8	22,0	145,5	4,0	144,8	27,7	143,6	3,6	131,2	25,9	124,4	3,4	118,2	25,0		4	1	

-> Continúa

Población	Genotipo	TTO	Algeciras				La Plata				Garzón				Acevedo				Pitalito				Clasificación (# loc)		
			ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	ALT	DT	DCOP	#CRUC	T _{cat}	T _{Cast}	>Cast
Cruces complejos	MEGO232#53	31	115,5	2,9	112,2	23,8	119,6	3,1	138,2	24,8	134,8	3,8	137,5	27,3	151,0	3,7	139,7	28,2	112,3	3,1	106,5	23,7		4	1
	MEGO232#333	32	107,0	2,7	104,9	24,1	108,6	2,8	102,0	24,3	124,4	3,7	127,9	26,2	139,1	3,4	123,4	26,7	102,5	3,2	104,1	24,4	3	2	
	MEGO232#522	33	109,1	2,7	104,1	27,3	114,2	3,0	106,8	27,8	129,8	3,5	134,8	30,5	135,9	3,4	127,3	30,5	109,9	3,6	103,7	27,3	3	2	
	MEGO232#66	36	105,2	3,0	111,1	23,4	102,8	3,0	95,6	23,9	138,0	3,9	134,9	28,7	137,3	3,8	133,3	27,7	109,3	3,2	107,4	25,6	3	2	
	MEGO232#958	37	115,4	2,7	111,9	23,5	116,3	2,9	105,5	24,3	137,6	3,6	134,8	27,9	146,0	3,5	131,6	27,9	120,8	3,9	110,1	25,5		5	
Testigos	CU-1815	46	112,5	2,9	117,2	22,4	115,8	3,0	111,7	23,0	134,4	4,0	145,7	25,7	138,3	3,7	135,9	23,5	122,9	3,5	128,7	24,6		5	
	CU-1843	48	120,3	3,3	120,4	23,9	114,7	3,3	114,6	23,9	127,0	4,0	136,9	25,2	123,4	3,7	118,5	23,0	118,3	3,5	122,1	23,8	1	4	
	Castillo@ El Tambo	49	127,1	3,4	129,4	25,0	120,9	3,4	117,4	24,2	133,5	3,9	137,2	26,4	152,4	3,9	147,4	27,1	128,4	3,7	139,0	24,9		4	1
	Caturra	47	102,1	2,7	102,1	22,7	97,6	2,7	93,3	22,2	118,6	4,5	121,1	25,6	128,3	3,2	112,5	25,6	98,5	2,9	99,4	23,4	5		

En las localidades evaluadas se distinguen dos patrones de cosecha, siendo La Plata de cosecha principal en primer semestre, y las otras localidades de cosecha en segundo semestre (Figura 5). La distribución de la producción en Algeciras no coincidió con lo reportado históricamente, donde se clasificaba como de cosecha principal entre marzo-abril. La distribución de la cosecha está relacionada directamente con la distribución de la floración, la cual está regulada por los períodos húmedos y secos. En la Figura 6 se muestran los balances hídricos para cada localidad, junto con los períodos de floración y cosecha entre 2018-2020.



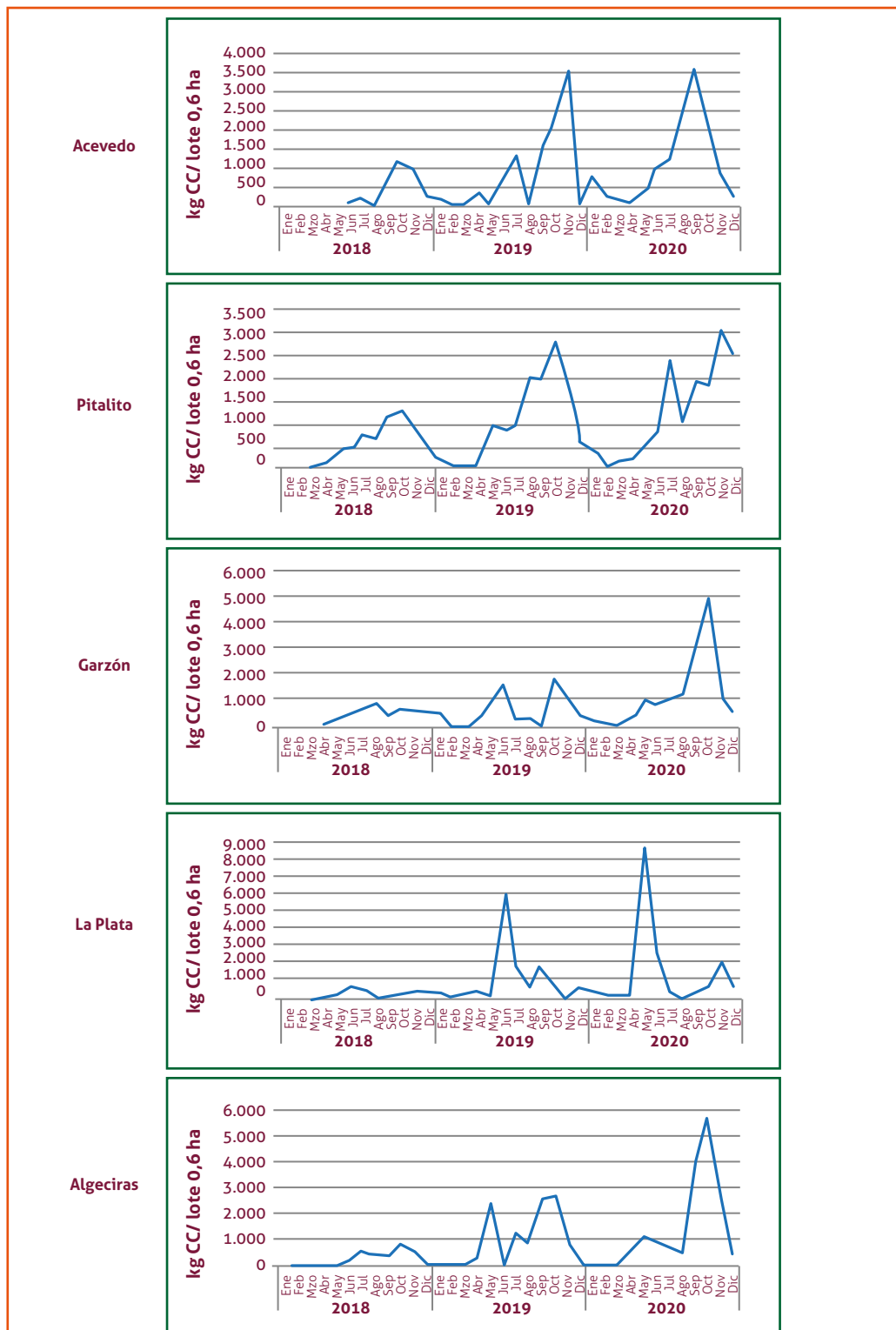


Figura 5. Distribución de la producción en las cinco localidades evaluadas en el departamento del Huila. CC: café cereza.

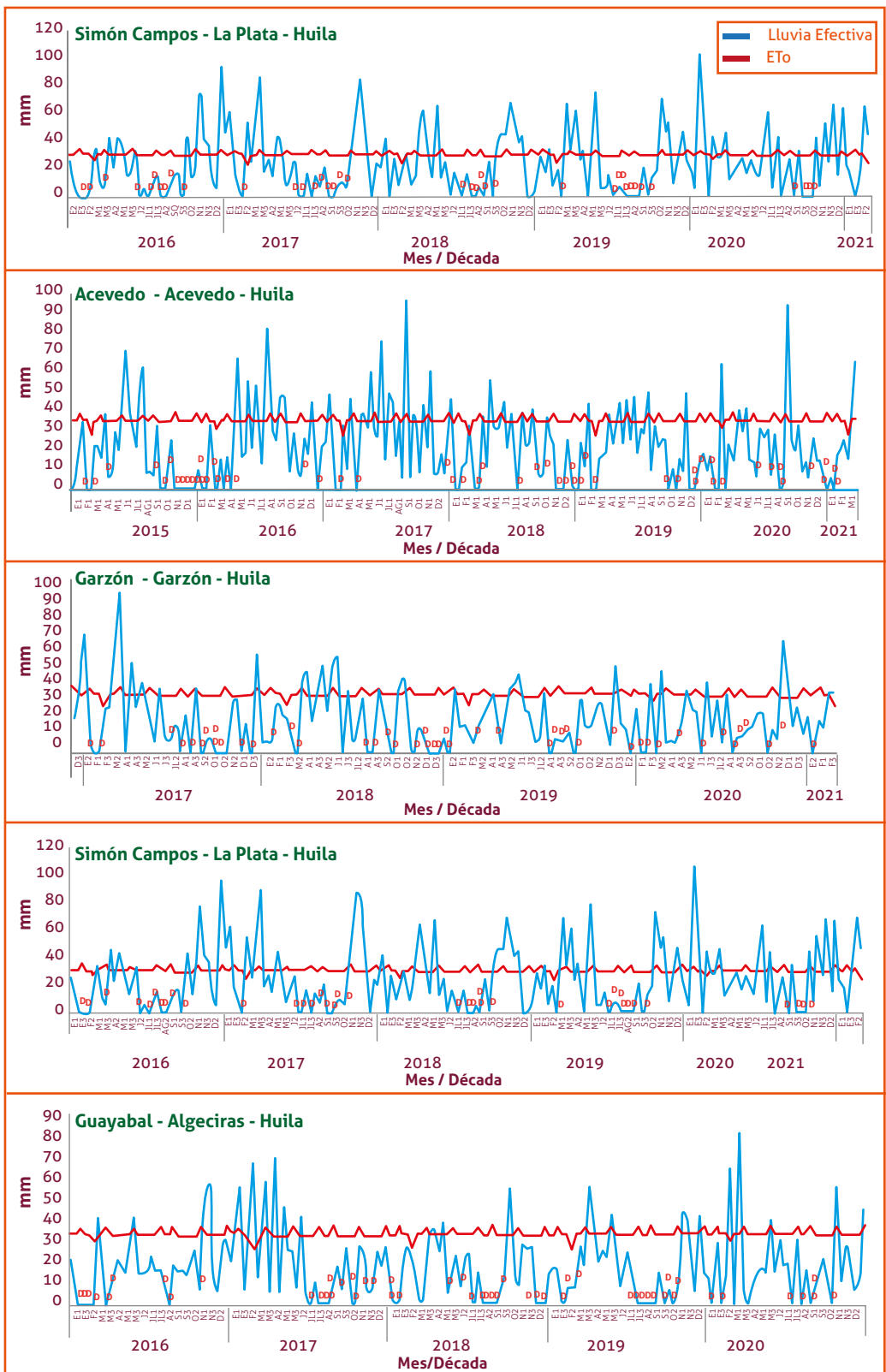


Figura 6. Balances hídricos observados entre 2016-2020 en las cinco localidades donde se establecieron las pruebas regionales en el departamento del Huila. D: período de déficit.

Bajo las condiciones experimentales evaluadas, la localidad con mayor potencial de producción acumulada en un ciclo de tres años fue Pitalito (1.249 @ ha⁻¹ de cps), seguido por La Plata y Algeciras (1.189 @ ha⁻¹ de cps), Acevedo (1.024 @ ha⁻¹ de cps) y Garzón (1.019 @ ha⁻¹ de cps). Las 14 líneas seleccionadas bajo los criterios de resistencia a la roya y porte del árbol, presentan una producción que está dentro del rango del testigo Castillo® y superior a Caturra (Tabla 8).

Tabla 8. Producción acumulada promedio de tres cosechas de las líneas mejoradas seleccionadas por ser resistentes a roya y por tener un porte de árbol tipo Caturra o Castillo®. Producción expresada en kg CC / parcela de 7,5m².

Población	Genotipo	TTO	Algeciras		La Plata		Garzón		Acevedo		Pitalito		Pacum general	
			Pacum	EE	Pacum	EE	Pacum	EE	Pacum	EE	Pacum	EE	Media	EE
Caturra x HdT1343	MEG315#1449	12	47,8	1,90	44,8	2,41	32,2	3,47	27,3	1,14	38,8	5,19	38,2	2,8
Caturra x C. canephora	MEG665#510	16	52,9	4,71	40,2	1,87	34,4	3,74	30,5	1,23	37,1	4,37	39,0	3,2
	MEG665#76	17	38,6	4,16	37,6	4,54	28,9	1,97	18,9	1,38	32,1	4,10	31,2	3,2
	MEG665#49	18	50,8	3,12	41,2	2,80	40,2	2,87	31,6	3,23	31,5	4,03	39,1	3,2
	MEG665#513	23	32,3	2,59	40,1	2,81	34,9	1,46	32,7	3,95	32,3	2,24	34,5	2,6
	MEG665#275	24	37,2	4,25	44,7	3,34	37,4	2,29	37,5	4,85	28,7	2,10	37,1	3,4
	MEG665#691	25	51,0	2,48	38,8	2,02	24,3	2,20	27,7	1,50	29,1	4,67	34,2	2,6
	MEG667#615	27	52,3	3,06	53,4	2,23	46,3	2,22	41,4	3,02	49,5	3,53	48,6	2,8
MEG667#892	29	42,1	6,00	38,0	3,36	37,2	4,91	23,6	3,47	40,4	5,29	36,3	4,6	
Cruces complejos	MEGO232#53	31	53,4	5,51	51,7	2,52	39,8	2,89	54,6	3,20	45,0	2,82	48,9	3,4
	MEGO232#333	32	43,2	2,26	38,8	2,04	34,4	2,33	33,7	2,85	34,3	3,69	36,9	2,6
	MEGO232#522	33	38,7	3,63	36,2	2,34	36,0	1,78	33,4	2,48	33,0	2,21	35,5	2,5
	MEGO232#66	36	43,8	6,19	38,7	2,54	48,4	3,80	39,8	2,38	40,6	2,88	42,2	3,6
	MEGO232#958	37	43,3	3,14	44,5	4,01	41,6	3,77	47,2	2,38	43,4	4,97	44,0	3,7
Testigos	Castillo® Tambo	49	55,8	1,42	47,3	1,69	32,5	1,31	49,3	2,95	48,3	2,98	46,6	2,1
	Caturra	47	22,5	2,42	15,5	1,48	23,1	0,75	26,0	1,31	22,4	2,13	21,9	1,6

La calidad física del grano mostró que no hay diferencias de las líneas seleccionadas frente al testigo Castillo, con excepción de la línea MEGO232#522, la cual presentó 53% de grano supremo, por lo cual no cumple con este criterio de selección (Tabla 9).

Tabla 9. Calidad física del grano de las líneas seleccionadas en las pruebas regionales, establecidas en cinco localidades del departamento del Huila.

Población	Genotipo	TTO	Caracol (%)		Triángulo (%)		Monstruo (%)		Supremo (%)	
			Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE
Caturra x HdT1343	MEG315#1449	12	7,9	0,9	1,9	0,3	0,4	0,1	76,8	3,4
	MEG665#510	16	8,4	1,1	3,8	0,8	0,1	0,1	85,2	2,8
	MEG665#76	17	10,1	1,0	3,5	0,7	0,2	0,1	62,5	5,5
	MEG665#49	18	10,8	1,3	1,5	0,3	0,1	0,0	82,9	2,4
	MEG665#513	23	11,7	1,1	1,1	0,3	0,1	0,1	67,3	3,7
	MEG665#275	24	8,2	0,7	1,2	0,2	0,1	0,0	77,7	1,9
	MEG665#691	25	7,3	1,0	2,4	0,6	0,3	0,1	76,3	3,8
	MEG667#615	27	9,0	0,9	3,1	0,4	0,0	0,0	82,8	3,1
MEG667#892	29	10,7	1,5	2,3	0,4	0,2	0,1	81,7	2,6	
Cruces complejos	MEGO232#53	31	4,8	0,7	0,7	0,3	0,1	0,0	80,8	3,2
	MEGO232#333	32	10,7	1,0	1,9	0,4	0,3	0,1	62,9	3,8
	MEGO232#522	33	13,3	1,3	0,8	0,2	0,2	0,1	53,0	3,5
	MEGO232#66	36	11,3	1,3	1,4	0,3	0,1	0,1	74,0	3,4
	MEGO232#958	37	10,7	1,4	2,4	0,5	0,2	0,1	64,8	5,3
Testigos	Castillo® El Tambo	49	6,8	1,0	0,6	0,2	0,1	0,1	70,3	4,9
	Caturra	47	8,6	0,8	5,3	0,7	0,3	0,1	58,7	3,6

Las líneas seleccionadas obtuvieron un puntaje SCA igual o superior a 80 puntos, clasificándose como cafés especiales. En La Plata y Pitalito las líneas obtuvieron mayores puntajes SCA. Se destacó la línea MEG0232#333, la cual obtuvo en cuatro de las cinco localidades evaluadas un puntaje mayor o igual a 85 (Tabla 10). Las líneas seleccionadas presentaron un puntaje SCA por descriptor sensorial superior o igual a 7,2 (Tabla 11).

Tabla 10. Puntaje total SCA de las líneas seleccionadas y testigos por localidad evaluada.

	Genotipo	Tratamiento	Localidad					Total general
			Acevedo	Pitalito	Garzón	La Plata	Algeciras	
Caturra x HdT1343	MEG315#1449	12	81	82	82	83	81	82
Caturra x C. canephora	MEG665#510	16	80	83	80	83	80	81
	MEG665#76	17	80	81	80	80	80	80
	MEG665#49	18	80	83	82	84	81	82
	MEG665#513	23	81	82	81	83	80	81
	MEG665#275	24	82	80	80	82	80	81
	MEG665#691	25	80			81	81	81
	MEG667#615	27	80	80	81	81	80	80
	MEG667#892	29	81	81	81	81	80	81
Cruces complejos	MEG0232#53	31	81	82	80	84	84	82
	MEG0232#333	32	85	86	81	85	85	84
	MEG0232#66	36		83	81	81	82	82
	MEG0232#958	37	80	82	82	81	84	82
Testigos	Castillo@ El Tambo	49	81	81		83	80	81
	Caturra	47	80	81	80	81	79	80
Total general			81	82	81	82	81	81

Tabla 11. Puntaje SCA por descriptor sensorial de las líneas seleccionadas y testigos evaluados.

Población	Genotipo	Tratamiento	Puntaje SCA										
			Frag/Aroma	Sabor	Sub. Residual	Dulzor	Taza Limpia	Uniformidad	Acidez	Cuerpo	Balance	Puntaje Catador	Puntaje Total
Caturra x HdT1343	MEG315#1449	12	7,6	7,4	7,3	10,0	10,0	10,0	7,4	7,4	7,4	7,4	81,8
Caturra x C. canephora	MEG665#510	16	7,5	7,3	7,2	10,0	10,0	10,0	7,3	7,4	7,3	7,3	81,3
	MEG665#76	17	7,4	7,1	7,0	10,0	10,0	10,0	7,1	7,2	7,1	7,1	8,0
	MEG665#49	18	7,6	7,5	7,4	10,0	10,0	10,0	7,4	7,4	7,4	7,4	82,0
	MEG665#513	23	7,4	7,3	7,2	10,0	10,0	10,0	7,3	7,3	7,3	7,3	81,2
	MEG665#275	24	7,4	7,2	7,1	10,0	10,0	10,0	7,2	7,3	7,2	7,2	80,7
	MEG665#691	25	7,5	7,3	7,1	10,0	10,0	10,0	7,2	7,4	7,2	7,2	80,8
	MEG667#615	27	7,4	7,1	7,1	10,0	10,0	10,0	7,2	7,2	7,1	7,1	80,3
	MEG667#892	29	7,4	7,2	7,2	10,0	10,0	10,0	7,3	7,3	7,2	7,2	80,8
Cruces complejos	MEG0232#53	31	7,7	7,4	7,3	10,0	10,0	10,0	7,5	7,5	7,4	7,4	82,2
	MEG0232#333	32	8,0	7,8	7,6	10,0	10,0	10,0	7,7	7,7	7,6	7,8	84,2
	MEG0232#66	36	7,6	7,4	7,3	10,0	10,0	10,0	7,5	7,4	7,3	7,3	81,8
	MEG0232#958	37	7,6	7,4	7,3	10,0	10,0	10,0	7,4	7,5	7,3	7,3	81,7
Testigos	Castillo@ El Tambo	49	7,4	7,3	7,2	10,0	10,0	10,0	7,4	7,3	7,3	7,3	81,2
	Caturra	47	7,2	7,2	7,1	10,0	10,0	10,0	7,2	7,2	7,1	7,1	80,2
Total general			7,5	7,3	7,2	10,0	10,0	10,0	7,4	7,4	7,3	7,3	81,4

Las muestras de excelente taza (SCA \geq 84) se perfilaron describiendo cada uno de sus atributos sensoriales. Se encontró un amplio número de notas para cada descriptor, lo que refleja la diversidad presente en la Colección Colombiana de Café para este carácter. Se destacan las fragancias/aromas y sabor frutales con notas frutos secos, una acidez delicada y un cuerpo cremoso (Tabla 12).

Tabla 12. Proporción de descriptores asociados con los atributos fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez y cuerpo encontrado en líneas mejoradas seleccionadas clasificadas como de excelente calidad sensorial.

Atributo Sensorial	Descriptor	Nota	Proporción de Muestras (%)
Fragancia/Aroma	Dulce	Caramelo	17
		Chocolate	0
		Panela	0
		Miel	17
		Caña de azúcar	0
		Vainilla	0
	Floral	Jazmín	17
		Limoncillo	0
		Rosas	0
		Lavanda	0
	Frutal	Cítricos (limón, lima, naranja, toronja)	0
		Frutos secos (nueces, avellanas, almendras)	33
		Frutos rojos (manzanas, fresas, uvas, cerezas, vino, moras, arándanos, frambuesas)	0
Frutos amarillos (durazno, maracuyá, melocotón, piña, banano)		17	
Sabor	Dulce	Caramelo	33
		Chocolate	17
		Panela	0
		Miel	0
		Caña de azúcar	0
		Vainilla	0
	Floral	Jazmín	0
		Limoncillo	0
		Rosas	0
		Lavanda	0
	Frutal	Cítricos (limón, lima, naranja, toronja)	33
		Frutos secos (nueces, avellanas, almendras)	0
		Frutos rojos (manzanas, fresas, uvas, cerezas, vino, moras, arándanos, frambuesas)	0
Frutos amarillos (durazno, maracuyá, melocotón, piña, banano)		17	
Sabor Residual	Limpio	33	
	Nítido	33	
	Suave	33	
Acidez	Intensa	0	
	Brillante	33	
	Fina	0	
	Delicada	67	
Cuerpo	Cremoso	67	
	Suave	33	
	Consistente	0	
	Delicado	0	
	Intenso	0	

Conclusiones

Se seleccionaron 13 líneas mejoradas resistentes a la roya, con excelentes características agronómicas, calidad física del grano y calidad en taza catalogada como especial, que pueden entrar a conformar las variedades comerciales vigentes. El departamento del Huila participó con el 43% de las pruebas regionales a nivel de país.

El 93% de las líneas seleccionadas poseen mecanismos de resistencia contra la roya diferentes a los que poseen las variedades comerciales actuales, los cuales contribuirán a la durabilidad de la resistencia en las variedades comerciales actuales.



Literatura citada

López, J. M., Marín-Ramírez, G., Gaitán, A., & Ángel, C. A. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé*, 498, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4244>

Salazar, S., Hoyos, J., Quiroga-Mosquera, A., & García-López, J. C. (2019). Zonas agroecológicas. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 08–31). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_1

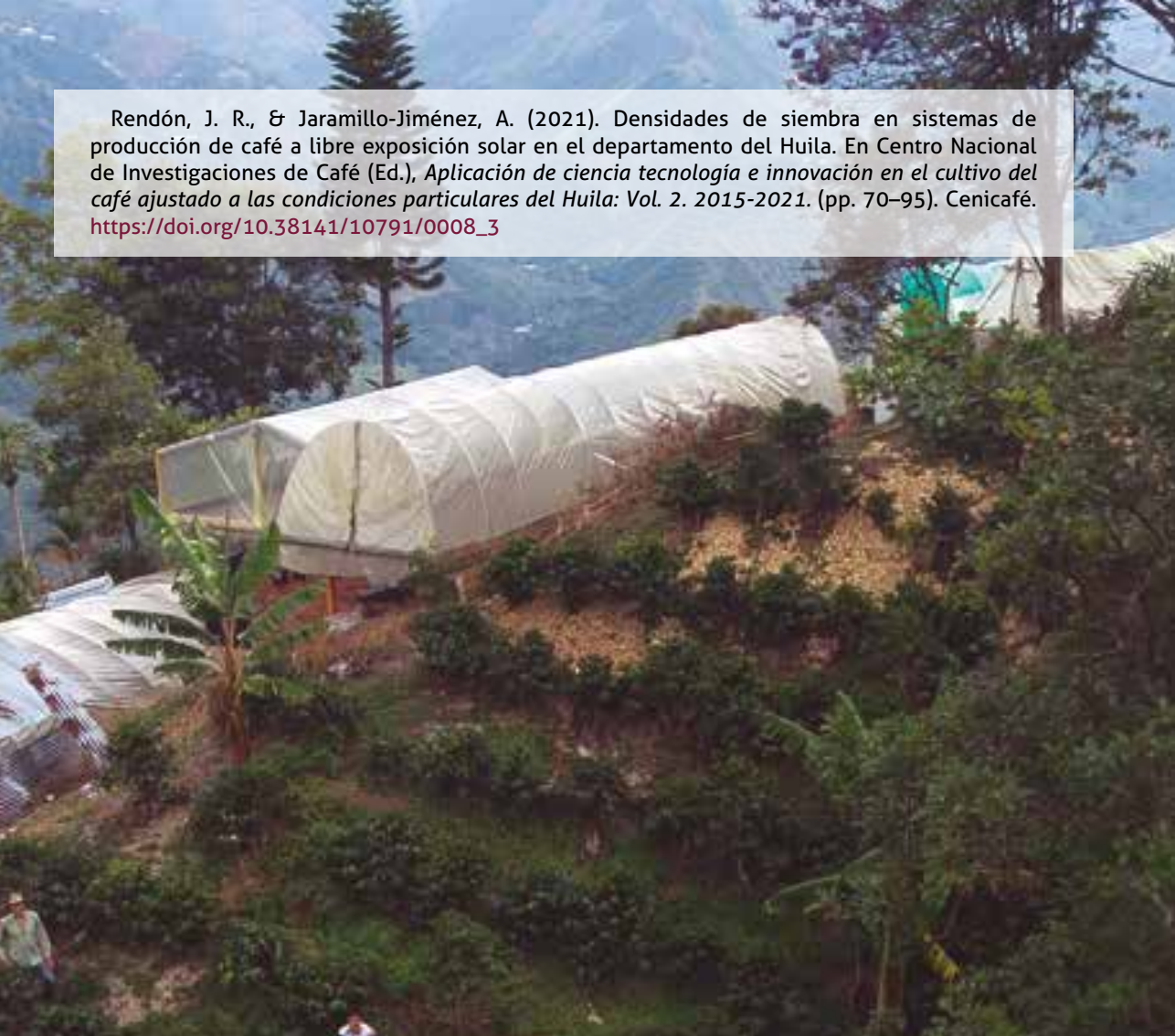


3



Densidades de siembra en sistemas de producción de café a libre exposición solar en el departamento del Huila

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



Rendón, J. R., & Jaramillo-Jiménez, A. (2021). Densidades de siembra en sistemas de producción de café a libre exposición solar en el departamento del Huila. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila: Vol. 2. 2015-2021.* (pp. 70–95). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0008_3

José Raúl Rendón Sáenz
Investigador Científico I
Disciplina de Fitotecnia

<https://orcid.org/0000-0002-5676-4670>

Alexander Jaramillo Jiménez
Auxiliar de Investigación
Disciplina de Fitotecnia

<https://orcid.org/0000-0003-4580-1613>

A lush green coffee plantation with rows of trees and yellow flowers. In the background, there are rolling hills and a small building. A white banner is overlaid on the top part of the image.

INTRODUCCIÓN

El enfoque en la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, describe las prácticas agronómicas estratégicas que determinan la capacidad productiva de los sistemas de producción de café; entre los componentes de mayor importancia que representan la estructura de los sistemas se encuentran la densidad de siembra y la edad del cultivo. En el momento de planificar la labor de renovación por siembra, la elección del número de plantas por hectárea es una de las primeras etapas que se definen, junto al material genético conformado por las variedades de café recomendadas para la caficultura en Colombia. Luego de cumplir los ciclos de producción, el manejo del cultivo a través de los métodos de renovación permite mantener plantaciones jóvenes y productivas en el tiempo.

La caficultura del departamento del Huila, al momento de iniciar este proyecto de investigación en el año 2015, contaba con cerca de 154 mil hectáreas en café, de las cuales un 58% aproximadamente se encontraban establecidas con densidades de siembra menores a 5.250 plantas/ha, según registros en el Sistema de Información Cafetera de la Federación Nacional de Cafeteros (SICA). En la mayoría de los casos las plantaciones con bajas densidades de siembra permanecían por ciclos de más de siete años sin renovarse y con bajos niveles de producción anual, los cuales repercuten sobre los costos de producción.

Algunas características predominantes de la caficultura del Huila, en cuanto a clima y propiedades del suelo, facilitan el establecimiento del cultivo en condiciones de libre exposición solar. Estos atributos se describen con mayor precisión en las diferentes zonas agroecológicas caracterizadas a



partir de los estudios de zonificación realizados en el proyecto de aplicación de ciencia, tecnología e innovación en el cultivo de café.

A través del desarrollo de la subactividad “Evaluación de densidades de siembra en sistemas de producción a libre exposición solar”, en seis municipios del departamento, representativos de la caficultura de Norte a Sur, se reúnen las condiciones particulares y se presentan los principales resultados obtenidos, al ajustar el número de plantas por hectárea y las prácticas de manejo agronómico del cultivo, con base en las recomendaciones de las investigaciones desarrolladas en el Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé. Esta investigación se desarrolló con recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías – Gobernación del Huila, el Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila (FNC).

Con la adopción de densidades de siembra adecuadas para los sistemas de producción, se integra un cambio técnico que redundará en una mayor eficiencia de los factores, mejora la rentabilidad y promueve el bienestar de los caficultores.

La oportunidad de desarrollar investigación en la caficultura con recursos del Sistema General de Regalías del departamento del Huila, representa una estrategia de impulso para una mayor competitividad en el sector agrícola. Además, con la experiencia en el desarrollo de este proyecto se destaca la participación de los caficultores, lo cual merece el reconocimiento y gratitud para todos ellos, por el apoyo, el interés, el intercambio de conocimiento y el avance en los procesos de mejora alcanzados con base en los resultados.





Definiciones

Sistemas de producción

Un sistema de producción agrícola en su conjunto integra actividades dirigidas a transformar componentes abióticos como el clima, por medio de componentes bióticos como las variedades de plantas, combinando en el tiempo y en el espacio los factores de producción (tierra, mano de obra, capital, entre otros) para obtener productos de importancia económica (Farfán, 2020).

Un sistema de producción de café se define como el conjunto de factores y opciones tecnológicas que, al interactuar entre ellos, permiten obtener la máxima productividad desde el punto de vista biológico, económico y social. En la condición particular de los sistemas de producción establecidos a plena exposición solar, pueden clasificarse como aquellos en los cuales el efecto de la regulación de la luz incidente proviene de cualquier especie arbórea permanente, inferior a 20 árboles por hectárea o inferior de 300 especies arbustivas semipermanentes (Farfán, 2020).

Densidad de siembra y arreglo espacial

Independiente del sistema de producción, si es establecido a libre exposición solar o en sistemas agroforestales, la densidad de siembra se destaca como uno de los factores determinantes de la productividad, ya que de esta decisión dependen otras labores asociadas al manejo agronómico del cultivo, la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles (agua, nutrientes y energía) para su transformación en biomasa y la duración de los ciclos de producción (Rendón, 2020).

La densidad de siembra se define como el número de plantas por unidad de área de terreno y se expresa en número de plantas por hectárea. Dentro de ella, las distancias de siembra corresponden a la forma en la que se distribuyen las plantas en el terreno, lo cual determina el arreglo espacial, ya sea en cuadro, con distancias iguales entre plantas y entre surcos, en rectángulo con la mayor distancia entre surcos y la menor entre plantas, en forma de triángulo o siembras en franjas con barreras de otros cultivos (Rendón, 2020).

Ciclos de producción

En el cultivo de café, como en otros cultivos, la edad también es un factor que determina la capacidad productiva de las plantas; en cultivos envejecidos la reducción de la producción y el deterioro es notorio y para contrarrestar este efecto existen sistemas de renovación que permiten recuperar y estabilizar la producción en el tiempo. Todas estas recomendaciones sobre el manejo del cultivo de café, tienen como finalidad garantizar la capacidad de las plantas para permanecer en el campo cerca de 20 años, lo que equivale al período de tiempo transcurrido desde la siembra y las siguientes etapas de renovación (Rendón, 2020).

Densidades de siembra en sistemas de producción de café a libre exposición solar en el departamento del Huila

El número de años que un cafetal puede permanecer sin renovación depende del número de cosechas en las cuales se consigue el máximo promedio de producción anual. A medida que los árboles incrementan su altura, el manejo del cultivo se hace más difícil, la producción disminuye y se desplaza hacia el extremo de las ramas y hacia la parte superior del tallo (Arcila, 2007; Mestre & Ospina, 1994). Otro aspecto importante es que los cultivos envejecidos pueden ser afectados por problemas fitosanitarios, que comprometen el desarrollo de las cosechas futuras, lo que hace necesario efectuar un plan de renovación para recuperar la capacidad productiva (Rendón, 2020).

Metodología para la evaluación de las densidades de siembra en los sistemas de producción establecidos a libre exposición solar

El desarrollo de este estudio comprendió una primera fase de reconocimiento de la estructura de los sistemas de producción, representativos de las condiciones particulares de la caficultura del departamento del Huila, a través de la información registrada en el SICA, el apoyo del Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros del Huila y la verificación *in situ* de los criterios para el establecimiento de caficultura a libre exposición solar. En una segunda fase se abordó la estrategia de selección del número de sitios, la distribución del área de estudio en cada sitio y la asignación aleatoria de las densidades de siembra para su evaluación.

El diagnóstico inicial permitió identificar un 36% del área en café, con condiciones aceptables para el establecimiento de sistemas de producción a libre exposición solar. En cuanto a la densidad de siembra, el 58% del área se encontraba con menos de 5.250 plantas por hectárea (Figura 1).

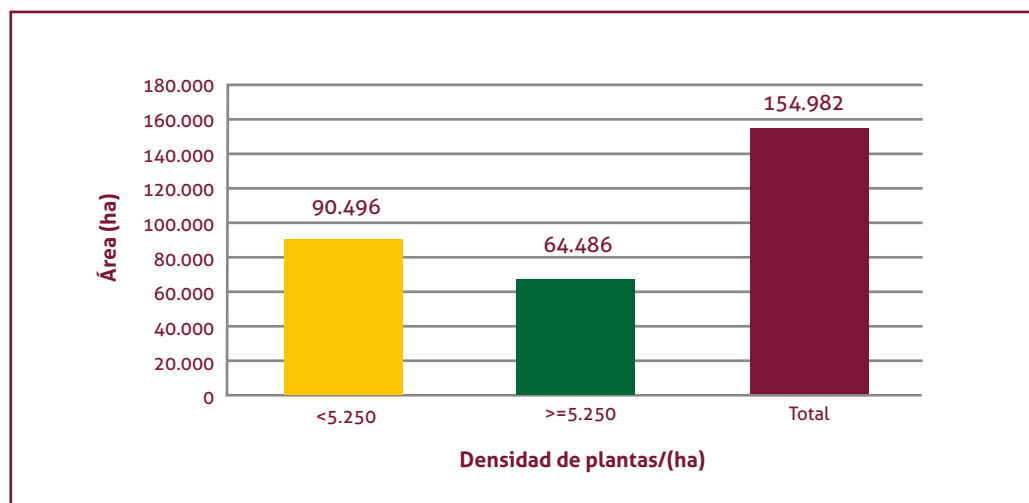
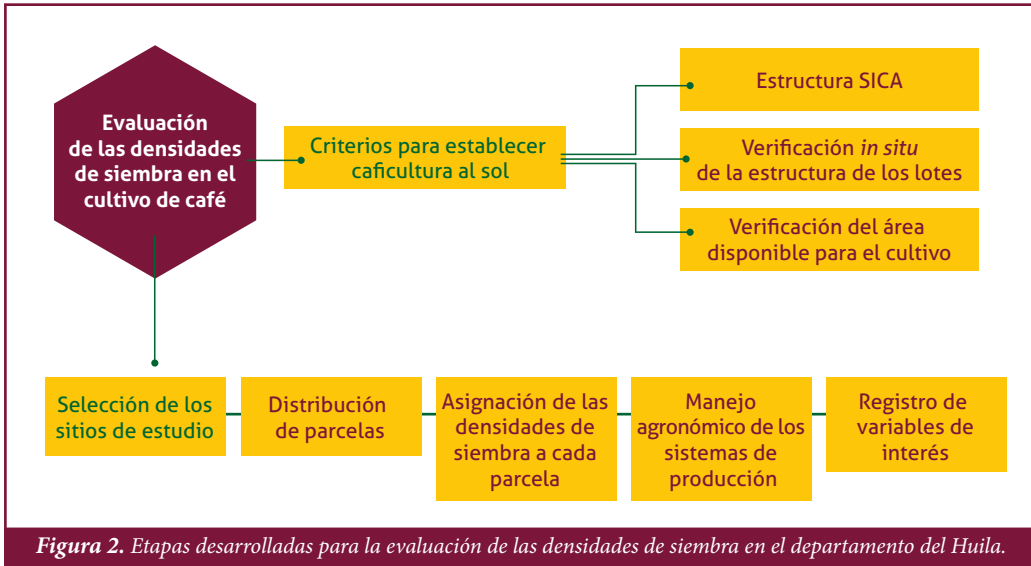


Figura 1. Distribución del área en café según la densidad de siembra en el departamento del Huila, para el año 2015.

En la selección de los sitios de estudio, además del cumplimiento de los criterios para establecer sistemas de producción a libre exposición solar, se tuvo en cuenta que cada predio contara con un área de terreno de aproximadamente una hectárea disponible para renovar por siembra. Otro aspecto importante en la etapa de selección fue la representatividad de las condiciones que caracterizan la caficultura de las zonas Norte, Centro y Sur del departamento.

Las principales etapas que describen el desarrollo de esta investigación se presentan en la Figura 2.



Criterios para el establecimiento de los sistemas de producción a libre exposición solar

El cumplimiento de las siguientes condiciones fueron determinantes para la selección de los sitios de estudio: altitudes superiores a los 1.400 m, precipitación media anual superior a 1.600 mm, temperatura media inferior a 21°C, brillo solar anual menor de 1.500 horas y características de suelos como baja pedregosidad para el establecimiento del cultivo a plena exposición solar.

Estos criterios fueron contrastados con los resultados obtenidos a través del estudio de las zonas agroecológicas en la caficultura del Huila, y con el propósito de apoyar las recomendaciones que fundamentan el manejo de los sistemas de producción. A continuación, se describen las características más relevantes asociadas a cada sitio de estudio.

Características de los sitios seleccionados

Zonas agroecológicas a las que pertenecen los sitios seleccionados para la investigación

Según Salazar et al. (2019) las zonas agroecológicas (ZAE) diferencian las condiciones que determinan la respuesta en producción de los cultivos. Estas se generaron a partir

del rango de adaptación del cultivo, explicado principalmente por variables climáticas, de suelo y la condición topográfica.

Los municipios seleccionados para el establecimiento de la investigación en el departamento fueron: Santa María y Teruel en el Norte, Gigante y La Plata en el Centro, y Acevedo y Pitalito en el Sur.

Zona agroecológica 2 - Municipios de Santa María, Teruel y La Plata

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, Nátaga, 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.

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 por hectárea, 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 anual de lluvias se encuentra entre los 1.600 y 1.900 mm, 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 está entre los 30 y 70 grados.

En esta zona agroecológica las principales floraciones se registran entre los meses de agosto y septiembre (Figura 3), de acuerdo con el patrón de cosecha que caracteriza esta zona. La renovación por medio de zocas se planifica en el mes de julio y las siembras en octubre, estas labores requieren la preparación del material para siembra y resiembras (colinos de café) con una anticipación de seis a ocho meses.

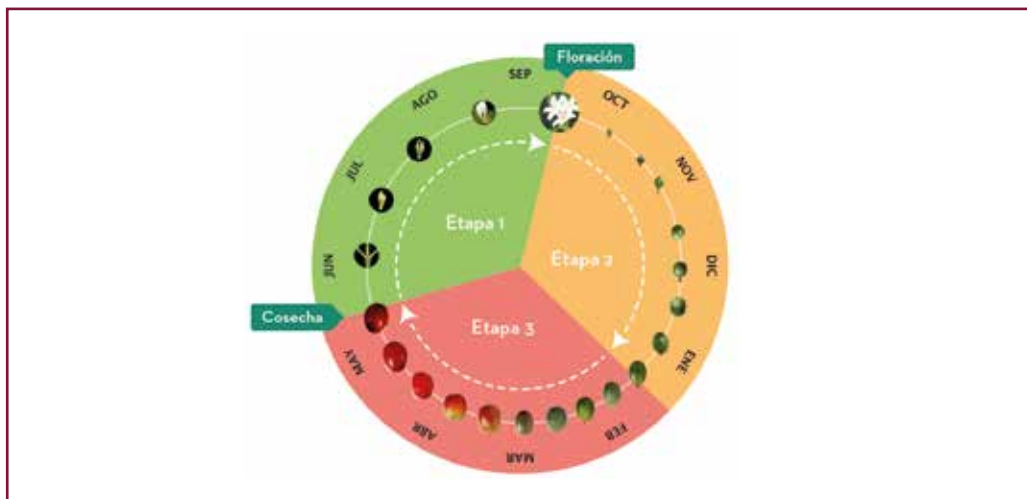


Figura 3. Etapas fenológicas para la formación de la cosecha de primer semestre (Fuente: Plataforma agroclimática (<https://agroclima.cenicafe.org/zonas-agroecologicas/enlace>)).

Zona agroecológica 1 -Municipio de Gigante

La ZAE1 presenta una media altitudinal de 1.477 m, se encuentra ubicada 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.

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. La altitud de los predios de la zona es inferior a 1.600 m. 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 por año, el tiempo térmico en la etapa de formación de fruto es de 2.200 a 2.800 grados de acumulación diaria. 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.

En esta zona agroecológica las principales floraciones se registran entre los meses de agosto y septiembre (Figura 3), de acuerdo con el patrón de cosecha que caracteriza esta zona, la renovación por medio de zocas se planifica en el mes de julio y las siembras en octubre, estas labores requieren la preparación del material para siembra y resiembras (colinos de café) con una anticipación de seis a ocho meses.

Zona agroecológica 6 - Municipios de Acevedo y Pitalito

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.

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 se encuentran entre las 1.400 y 1.600 horas de brillo solar anual, precipitación entre 1.800 y 2.100 mm anuales y acumulación térmica entre 2.000 y 2.600 grados por día. El promedio de la amplitud térmica es de 8,7 grados y la pendiente de la zona está entre 20 y 60 grados.

En esta zona agroecológica las principales floraciones se registran entre los meses de febrero y marzo (Figura 4), de acuerdo con el patrón de cosecha que caracteriza esta zona, la renovación por medio de zocas se planifica en el mes de enero y las siembras en marzo, estas labores requieren la preparación del material para siembra y resiembras (colinos de café) con una anticipación de seis a ocho meses.

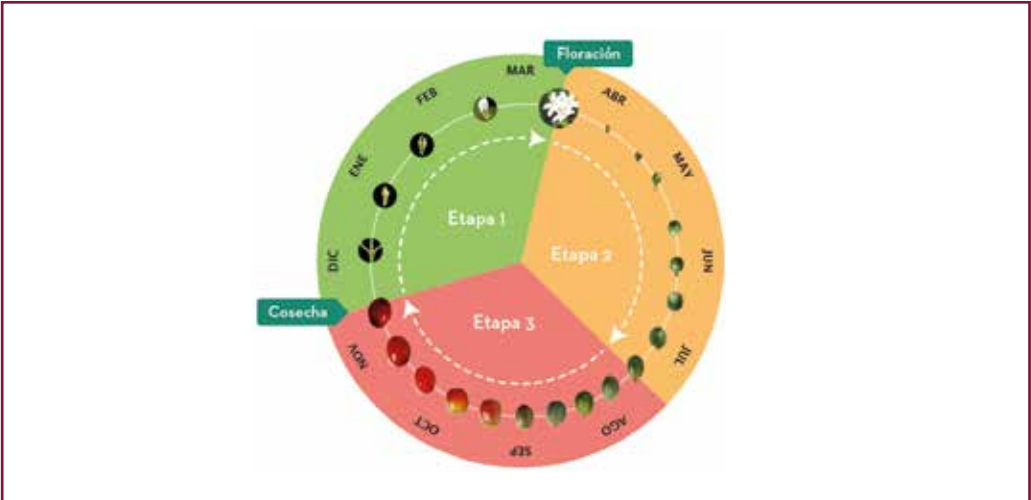


Figura 4. Etapas fenológicas para la formación de la cosecha de segundo semestre (Fuente: Plataforma agroclimática <https://agroclima.cenicafe.org/zonas-agroecologicas>).

Densidades de siembra evaluadas

En los predios seleccionados (uno por municipio), se establecieron aleatoriamente cuatro parcelas, una con la densidad de siembra y el arreglo espacial que el caficultor por tradición utilizaba en su sistema de producción, y tres parcelas con las densidades y arreglos descritos en la Tabla 1, entre las poblaciones de plantas se dejó un área de separación para caminos y se establecieron barreras con leguminosas para delimitarlas de otros lotes (Figura 5). El material de siembra correspondió a variedad Castillo® General y Castillo® El Tambo.

Tabla 1. Densidades y arreglo espacial establecidos en los sistemas de producción a libre exposición solar.

Distancia entre surcos (m)	Distancia entre plantas (m)	Densidad de siembra (plantas/ha)
-	-	< 5.000
1,50	1,00	6.666
1,25	1,00	8.000
1,00	1,00	10.000





Figura 5. Representación de las parcelas establecidas con cuatro densidades de siembra en sistemas de producción de café a plena exposición solar, municipios de Acevedo (a) y Teruel (b).

Registro de variables de interés

En cada parcela con su respectiva densidad de siembra, se seleccionaron aleatoriamente 60 árboles para el registro de la producción de café cereza y las variables de crecimiento, altura y número de cruces por planta (un par de ramas plagiotrópicas primarias). Adicionalmente se registró la producción total de café cereza por cada parcela.

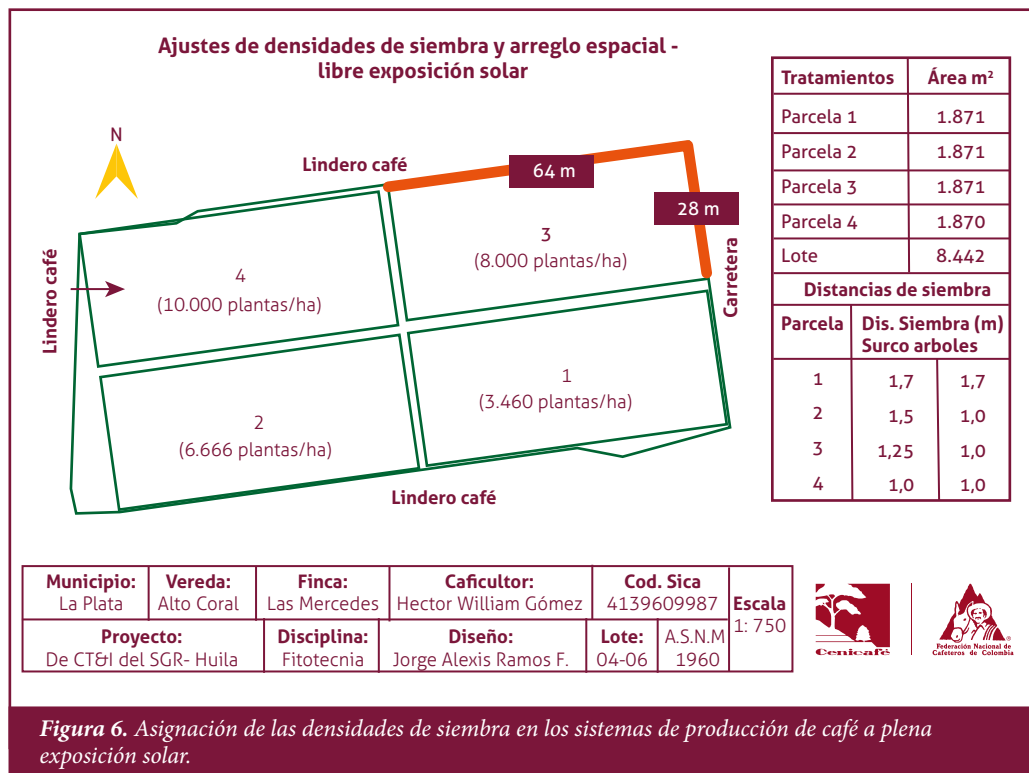
Prácticas de manejo agronómico

Germinadores y almácigos. Las etapas iniciales de establecimiento de los germinadores y almácigos para la siembra, en las seis localidades seleccionadas, se llevaron a cabo en la Concentración Jorge Villamil, ubicada en el municipio de Gigante. Allí se estableció semilla de variedad Castillo® General y Castillo® El Tambo, siguiendo todas las recomendaciones para cada etapa (Castro et al., 2008; Gaitán et al., 2011), en el germinador se utilizó una estructura elevada del suelo y con una adecuada desinfección del sustrato; en el almácigo se eligió un tamaño de bolsa de 17 x 23 cm para obtener colinos de seis meses de edad, el llenado de las bolsas se hizo con sustrato libre de cochinillas y nematodos, y se retiraron los residuos de raíces que pudieran estar contaminados con llagas. Para la siembra de la chapola se seleccionaron aquellas sanas y con buen desarrollo tanto de la raíz como de la parte aérea, se aplicaron oportunamente los planes de nutrición, riego y manejo integrado de plagas y enfermedades. Una vez cumplida la edad de trasplante de los colinos, estos fueron transportados a cada uno de los sitios previa preparación de los lotes para la siembra.

Establecimiento del cultivo. Para la distribución del terreno, el área total del lote se dividió en cuatro partes iguales, y de forma aleatoria se asignaron las densidades de siembra descritas en la Tabla 1. En el ejemplo para la localidad de La Plata se muestra el plano con las distancias de siembra y el área ocupada por cada parcela (Figura 6).

Luego de la preparación del lote, para garantizar el crecimiento adecuado de las plantas en la siembra, se realizó el trazo de los surcos a través de la pendiente con las distancias

definidas para cada densidad de siembra, los hoyos se hicieron con las dimensiones recomendadas para un buen anclaje del árbol (30 x 30 x 30 cm) y las muestras para el análisis de fertilidad del suelo se tomaron en forma oportuna para planificar la necesidad de nutrientes y la corrección de la acidez desde el momento de la siembra.



La época correcta de siembra es sin duda una de las principales acciones que el caficultor debe planificar para evitar pérdidas del material en la etapa de establecimiento, la siembra en las localidades del Norte y Centro caracterizadas por un patrón de cosecha principal en primer semestre, se realizó con el inicio de los períodos de lluvia del segundo semestre, en la zona sur la cosecha principal se presenta en el segundo semestre y la época de siembra en el período de lluvias del primer semestre, bajo estas condiciones en los seis municipios seleccionados para la investigación, se logró mantener la humedad del suelo requerida para las plantas durante la etapa de crecimiento vegetativo, en los sistemas de producción a plena exposición solar.

Fertilización. En el departamento del Huila según el estudio de las principales propiedades químicas en 6.000 muestras recolectadas en los suelos del área cultivada con café, se encontró como generalidad valores de pH inferiores al rango óptimo para el cultivo en el 53% del área del departamento, así como contenidos muy bajos de materia orgánica en el 84% de las muestras analizadas (Sadeghian et al., 2019). Los resultados del análisis de fertilidad del suelo obtenidos en los lotes seleccionados para la investigación, mostraron la necesidad de incorporar enmiendas al momento de la siembra e implementar la aplicación de abono orgánico en algunos sitios, con el fin de mejorar las condiciones físicas del suelo, aprovechando los subproductos del beneficio del café (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de fertilidad de suelo para la etapa de establecimiento del cultivo en el año 2016.

Municipio	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	CIC	P	Clasificación
			cmol ₍₊₎ kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
Acevedo	4,1	9,3	0,25	1,55	0,63	3,4	26	10	Arcilloso
Pitalito	4,6	6,5	0,64	3,23	0,8	1,4	20	136	Franco-Arcilloso
La Plata	4,8	17,1	0,46	3,50	1,15	1,3	28	8	Franco-Arcilloso
Gigante	4,0	7,5	0,41	0,44	0,25	2,1	12	67	Franco-Arcilloso-Arenoso
Teruel	3,8	11,9	0,17	0,74	0,23	6,8	28	7	Franco-Arcilloso
Santa María	5,0	4,8	0,2	5,66	1,07	0,1	-	7	Franco-Arcilloso-Arenoso

Manejo integrado de arvenses. Después de la recolección de café, una de las labores que demanda los mayores costos de producción del cultivo es el control de arvenses, esta labor se intensifica durante la fase de levante del cultivo y en los períodos de mayor precipitación con el aumento de la humedad en el suelo, lo cual hace propicio un crecimiento acelerado de las diferentes especies de plantas que compiten con el cultivo de café. El uso de estrategias para el manejo integrado de las arvenses requiere oportunidad, reconocimiento de los períodos críticos, el tipo de arvenses que predomina, la densidad o cobertura, el grado de competencia, la edad, el estado de desarrollo y el entrenamiento de los operarios que ejecutan la labor.

Una vez realizada la siembra de las plantas de café, se implementó el uso de herbicida preemergente para el control de arvenses en la superficie de la zona de raíces de los árboles, el control de las arvenses en las calles en los primeros 12 meses de crecimiento de cultivo, se realizó de forma mecánica y con aplicación de herbicida de forma selectiva sobre las arvenses de mayor interferencia, con el objetivo de promover el desarrollo de coberturas nobles.

La mayor exposición del terreno a la luz solar es un factor que aumenta la frecuencia en el control de las arvenses, esto fue evidente en las poblaciones con las menores densidades de siembra de café, en las cuales luego de los 30 meses de edad, en el acumulado de jornales durante un año, aún se registraba una alta presencia de arvenses y un mayor indicador de control, en comparación con las poblaciones de mayor densidad de siembra, que iniciaron el cierre de calles por el entrecruzamiento de las ramas de las plantas de café (Figura 7).

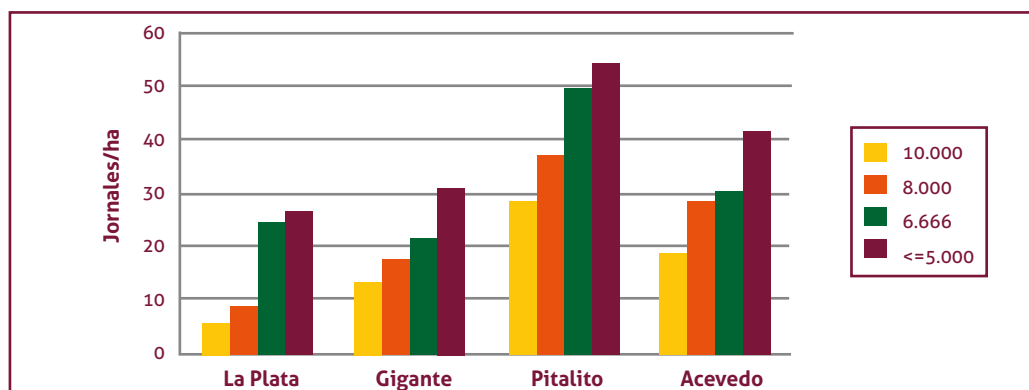


Figura 7. Indicadores de rendimiento para el manejo integrado de arvenses según la densidad de siembra en plantaciones de café de 30 meses.

Manejo fitosanitario. El manejo integrado de plagas y enfermedades de interés económico en el cultivo se basó en el seguimiento de los principales eventos de floración, el monitoreo y el análisis de los principales elementos del clima registrados en las estaciones agrometeorológicas instaladas en la zona cafetera del departamento.

Los registros de floración en dos localidades de la zona Centro del departamento, en los municipios de Gigante y La Plata, representan históricamente las mayores magnitudes de floración entre los meses de agosto y septiembre, para la cosecha principal del primer semestre del año (Figura 8), este patrón de cosecha es similar para la zona Norte del departamento. En la zona Sur las floraciones más abundantes ocurren entre los meses de enero y abril, y representan la cosecha principal del segundo semestre del año (Figura 9). Una correcta planificación de los períodos críticos con base en el tiempo que transcurre entre las fechas con las mayores floraciones y las etapas iniciales de desarrollo de los frutos, facilita la toma de decisiones frente al manejo de plagas y enfermedades de interés económico para el cultivo. En el caso particular del manejo integrado de la broca del café está la herramienta de registro, fue determinante en los planes de control del insecto entre los meses de diciembre y enero para los sitios con cosecha principal en el primer semestre y entre los meses de mayo y julio, para aquellos con mayor cosecha en el segundo semestre.

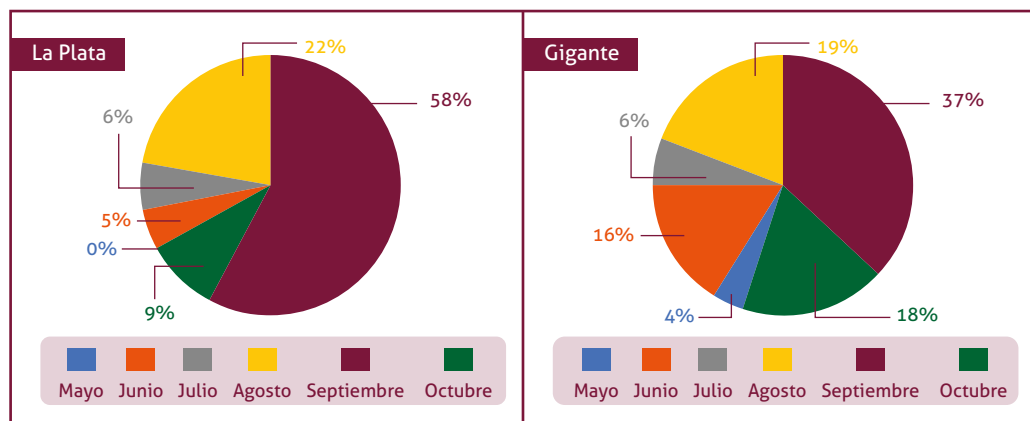


Figura 8. Distribución de la floración de café período mayo-octubre 2018, en dos localidades con patrón de cosecha principal en el primer semestre.

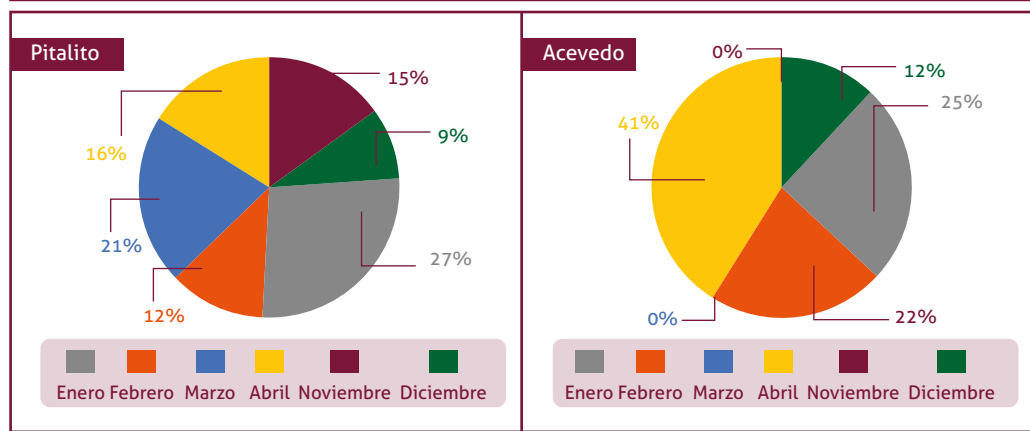


Figura 9. Distribución de la floración de café período noviembre 2017-abril 2018, en dos localidades con patrón de cosecha principal en el segundo semestre.

Para el manejo de cochinillas de la raíz se establecieron plantas indicadoras dentro del lote al momento de la siembra, con el fin de realizar el monitoreo mensual del insecto y tomar las medidas de control oportunas, siguiendo las recomendaciones de Gil et al. (2015). Los resultados obtenidos a partir del estudio de alertas tempranas en el departamento del Huila, permitieron confirmar las condiciones que favorecen la presencia de la chinche de la chamusquina del café *Monalonion velezangeli* en la zona centro del departamento (Benavides et al., 2019). Este insecto se detectó en los sistemas de producción de café localizados en el municipio de La Plata y su plan de manejo integró las recomendaciones de Ramírez et al. (2008).

Entre las principales enfermedades del cultivo, la mancha de hierro se presentó con mayor frecuencia en las etapas de crecimiento vegetativo y en producción, la fertilización química y la aplicación de abono orgánico obtenido de la descomposición de la pulpa de café, mejoraron la nutrición de las plantas y redujeron la incidencia de esta enfermedad.

Recolección de café

La labor de recolección es determinada por el patrón de distribución de la cosecha en cada zona, esta a su vez depende de las condiciones predominantes del clima en cada período. El número de eventos de recolección en un año, con floraciones de alta magnitud, puede ser inferior al número de eventos de recolección en años que registran floraciones muy dispersas. La zona Sur del departamento del Huila se caracteriza por presentar un patrón de cosecha principal en el segundo semestre y una mitaca (cosecha de menor magnitud) en el primer semestre (Figura 10), esta situación indica una alta frecuencia de la labor de recolección por el número de floraciones que promueven diferentes estados de desarrollo de los frutos todo el año.

En contraste, las zonas Centro y Norte concentran mayores floraciones, lo que propicia eventos de recolección de alta magnitud en un menor número de meses, así como períodos de tiempo en el año en los cuales no hay frutos para cosechar (Figura 10). Estas zonas con cosecha más concentrada representan una gran oportunidad para implementar estrategias de cosecha asistida como el uso de lonas, con el fin de aumentar los rendimientos y hacer un uso eficiente del personal en épocas con baja disponibilidad de mano de obra.

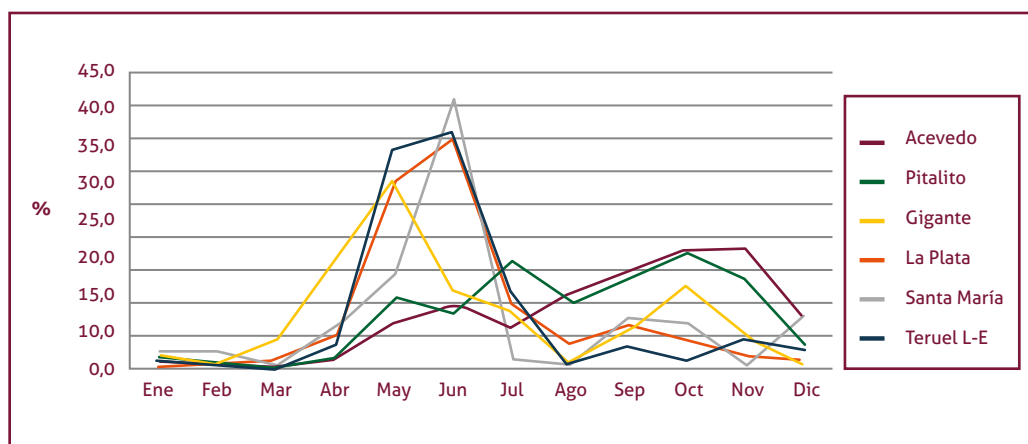


Figura 10. Distribución de la cosecha anual de café en seis localidades del departamento del Huila.

Respuesta de los sistemas de producción de café al incremento de la densidad de siembra

Crecimiento de la planta de café. Con el objetivo de describir los sistemas de producción bajo las condiciones de oferta de las zonas agroecológicas del departamento del Huila, las variables de crecimiento en altura y número de ramas por planta, en las poblaciones de café establecidas con las diferentes densidades de siembra, fueron evaluadas cada trimestre, desde los 12 hasta los 30 meses de edad.

Altura de la planta. La altura de la planta es una variable importante para describir los cambios que pueden presentarse al variar el número de plantas por hectárea y las distancias de siembra, como factores de manejo agronómico del cultivo. De acuerdo con los resultados que se presentan en la Tabla 3, en la localidad de Acevedo los mayores promedios de esta variable a través del tiempo se obtuvieron con las densidades de siembra de 6.666 y 8.000 plantas por hectárea. En Pitalito la menor altura de la planta a los 18 y 24 meses de edad se presentó con la menor densidad de siembra (4.444 plantas/ha).

En el Centro del departamento, Gigante presentó una menor altura de la planta a los 18 y 24 meses de edad, con una densidad de siembra de 6.666 plantas/ha; en La Plata esta variable no mostró diferencias estadísticas entre las densidades de siembra a los 24 y 30 meses de edad. En la zona Sur del departamento, la máxima altura promedio de las plantas a los 30 meses, se obtuvo con 8.000 plantas en Acevedo y con 10.000 plantas en Pitalito (Tabla 3).

La zona Norte del departamento presenta características de oferta climática y propiedades de los suelos que condicionan un menor crecimiento de las plantas de café, en los municipios de Santa María y Teruel a los 24 meses de edad, todas las densidades de siembra presentaron una altura de las plantas inferior a 1,0 m, al comparar la altura promedio en plantas de la misma edad en las demás localidades, donde este valor fue superior a 1,0 m (Tabla 3). En Teruel se obtuvo la menor altura de las plantas, con la mayor densidad de siembra (10.000 plantas/ha). Según las condiciones que describen la ZAE2, allí se presentan amplias ventajas para el establecimiento del cultivo de café con altas densidades de siembra, es así como sembrar un mayor número de plantas por hectárea, por encima del promedio reportado en los sistemas de producción actuales, es una estrategia para un mejor aprovechamiento de la oferta de recursos y el aumento de la productividad.

Tabla 3. Altura de la planta de café (cm) según la densidad de siembra y la edad.

Localidad	Densidad de siembra	12 Meses		18 Meses		24 Meses		30 Meses					
		Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE				
Acevedo	4.807	69,3	b	1,3	94,9	c	1,8	112,3	b	2,2	137,1	b	2,3
	6.666	76,8	a	1,6	100,0	ab	2,4	121,3	a	1,9	146,7	a	2,1
	8.000	75,9	a	1,2	103,4	a	1,3	121,3	a	2,3	149,7	a	2,0
	10.000	73,4	ab	1,3	97,5	bc	1,3	115,3	ab	1,7	139,0	b	1,8
Gigante	4.762	62,5	a	1,0	88,0	a	1,3	114,1	a	1,6	132,0	ab	1,7
	6.666	58,6	b	0,9	81,5	b	1,1	107,8	b	1,7	127,3	b	2,0
	8.000	61,7	ab	1,1	90,0	a	1,7	119,5	a	2,2	137,5	a	2,7
	10.000	64,5	a	1,0	87,9	a	1,4	120,1	a	1,8	135,7	a	1,9

-> Continúa

-> Continuación

Localidad	Densidad de siembra	12 Meses			18 Meses			24 Meses			30 Meses		
		Promedio	EE		Promedio	EE		Promedio	EE		Promedio	EE	
La Plata	3.460	54,9	bc	0,9	77,5	ab	1,1	105,8	a	2,0	119,2	a	1,3
	6.666	53,1	c	0,6	76,4	b	0,9	105,7	a	1,3	119,1	a	1,4
	8.000	60,0	a	0,8	81,2	a	1,2	108,0	a	1,4	123,8	a	1,6
	10.000	56,9	a	0,8	81,1	a	1,3	107,0	a	1,7	121,5	a	2,0
Pitalito	4.444	69,6	a	1,1	92,9	b	1,2	112,1	c	1,2	131,2	a	1,4
	6.666	72,0	a	1,3	94,2	ab	1,3	117,7	b	1,6	134,8	a	1,7
	8.000	70,5	a	1,3	94,3	ab	1,3	118,0	b	1,5	133,7	a	1,6
	10.000	73,1	a	1,5	98,7	a	1,9	127,1	a	2,4	143,7	a	2,5
Santa María	4.807	53,6	a	0,9	72,5	a	1,2	95,5	a	1,3			
	6.666	50,9	ab	1,0	68,1	ab	1,3	89,4	bc	1,7			
	8.000	50,3	b	1,0	66,4	b	1,5	87,3	c	1,6			
	10.000	50,0	b	1,0	69,8	ab	1,4	93,8	ab	1,8			
Teruel	4.762	41,2	a	1,1	59,6	a	1,2	78,7	a	1,4			
	6.666	42,9	a	0,9	58,6	a	1,4	78,6	a	1,6			
	8.000	44,7	a	1,0	59,6	a	1,2	82,6	a	1,6			
	10.000	37,7	b	0,9	49,3	b	1,1	70,4	b	1,4			

Para cada edad y localidad, letras distintas indican diferencias estadísticas entre los promedios según prueba de rango múltiple REGWQ al 5%. EE: Error estándar.

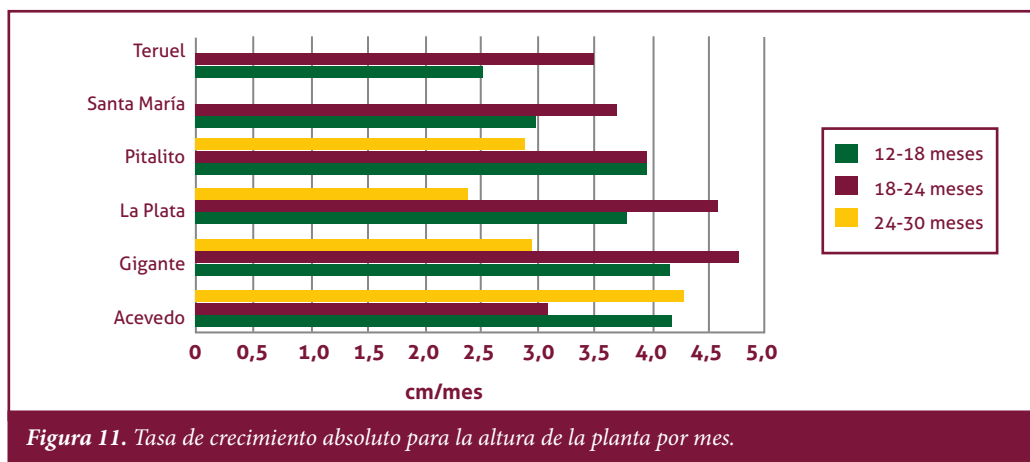


Figura 11. Tasa de crecimiento absoluto para la altura de la planta por mes.

La tasa de crecimiento en altura puede interpretarse en valores absolutos como la velocidad con la que el tallo principal aumenta su longitud en centímetros por mes. Según la edad de la planta de café, bajo las condiciones de los sitios de estudio, la altura mostró de forma descriptiva una menor tasa de crecimiento con rangos de edad entre 12 y 18 meses, en los sistemas de producción de café establecidos en los municipios de Teruel y Santa María, en comparación con los demás sitios. Cuando las plantas de café alcanzaron un rango de edad entre 24 y 30 meses, la altura de la planta en Pitalito, La Plata y Gigante redujo la tasa de crecimiento respecto a los valores registrados con una menor edad (Figura 11).

Número de ramas. El número de ramas por planta puede indicar el grado de competencia y la capacidad de las plantas para conservar su estructura a través del tiempo, bajo los diferentes arreglos espaciales y densidades de siembra. Los promedios y el error estándar para esta variable se presentan en la Tabla 4. Según estos resultados, en la zona Sur el menor número de ramas se obtuvo con la menor densidad de siembra (4.807 plantas/ha) desde los 12 hasta los 24 meses de edad del cultivo, en la localidad de Acevedo; en Pitalito esta misma condición se observó a los 24 meses.

En el Centro del departamento, Gigante presentó a los 30 meses de edad un menor número de ramas con las densidades de 4.762 y 6.666 plantas/ha, en La Plata a los 12 meses de edad el número de ramas por planta fue menor, con las densidades de 3.460 y 6.666 plantas/ha. En la zona Norte, para la localidad de Teruel, igual a lo ocurrido con la variable altura, se presentó un menor número de ramas por planta, con la densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea. Santa María no presentó diferencias en esta variable a los 12 meses de edad.

Tabla 4. Número de ramas por planta de café según la densidad de siembra y la edad.

Localidad	Densidad de siembra	12 Meses		18 Meses		24 Meses		30 Meses					
		Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE				
Acevedo	4.807	18,7	b	0,5	31,7	b	0,8	38,9	b	0,9	48,8	b	1,1
	6.666	21,6	a	0,5	33,9	a	0,9	41,7	a	0,7	51,6	ab	0,7
	8.000	21,2	a	0,5	35,2	a	0,6	42,3	a	0,8	52,9	a	0,9
	10.000	22,2	a	0,4	34,3	a	0,6	41,3	a	0,6	51,7	ab	0,9
Gigante	4.762	18,2	a	0,3	30,4	a	0,5	41,9	a	0,7	50,2	b	0,9
	6.666	16,4	b	0,3	28,3	b	0,4	39,0	b	0,6	48,7	b	0,9
	8.000	17,0	b	0,3	30,4	a	0,5	42,6	a	0,7	53,7	a	0,9
	10.000	16,8	b	0,3	29,2	ab	0,5	42,6	a	0,7	54,6	a	0,9
La Plata	3.460	15,1	b	0,3	25,3	bc	0,5	37,5	b	0,6	47,1	b	0,7
	6.666	14,9	b	0,2	24,7	c	0,4	37,9	b	0,5	47,2	b	0,6
	8.000	16,6	a	0,3	27,1	a	0,5	40,0	a	0,5	49,9	a	0,7
	10.000	16,2	a	0,3	26,6	ab	0,5	38,9	ab	0,6	48,9	ab	0,8
Pitalito	4.444	23,4	a	0,4	34,0	b	0,5	45,6	b	0,6	54,9	b	0,8
	6.666	23,6	a	0,6	35,6	ab	0,5	48,0	a	0,6	56,8	ab	0,7
	8.000	23,9	a	0,5	36,8	a	0,6	48,6	a	0,7	57,5	ab	0,7
	10.000	23,7	a	0,5	37,1	a	0,7	49,4	a	0,9	59,1	a	1,0
Santa María	4.807	14,1	a	0,4	22,9	a	0,6	33,2	a	0,6			
	6.666	13,3	a	0,4	21,3	ab	0,5	30,9	bc	0,6			
	8.000	12,5	a	0,4	20,7	b	0,5	29,7	c	0,7			
	10.000	13,4	a	0,9	20,8	b	0,5	32,7	ab	0,7			
Teruel	4.762	7,4	b	0,3	15,9	a	0,4	23,2	a	0,6			
	6.666	7,4	b	0,3	16,5	a	0,4	23,9	a	0,5			
	8.000	8,6	a	0,3	16,1	a	0,3	24,1	a	0,6			
	10.000	5,9	c	0,3	12,6	b	0,4	20,0	b	0,7			

Para cada edad y localidad, letras distintas indican diferencias estadísticas entre los promedios según prueba de rango múltiple REGWQ al 5%. EE: Error estándar.

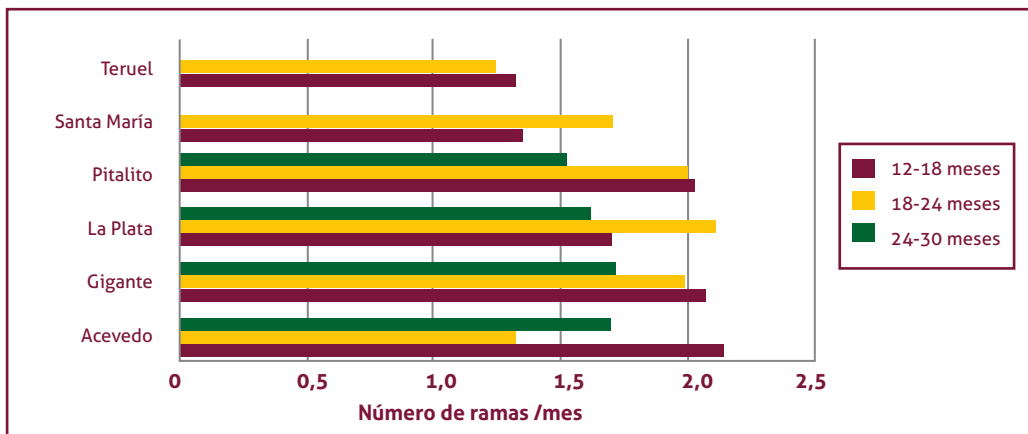


Figura 12. Tasa de crecimiento absoluto para el número de ramas formadas por mes en la planta.

La tasa de crecimiento en número de ramas puede interpretarse en valores absolutos como la velocidad de emisión de ramas primarias en el tallo principal por mes. Según la edad de la planta de café, de forma descriptiva se observó una menor tasa del número de ramas formadas por mes, con rangos de edad entre 12 y 18 meses, en los sistemas de producción de café establecidos en los municipios de Teruel y Santa María, en comparación con los demás sitios. De igual forma, como se describió para la altura de la planta, cuando se alcanzó un rango de edad entre 24 y 30 meses, el número de ramas formadas por mes en Pitalito, La Plata y Gigante redujo la tasa de crecimiento respecto a los valores registrados con una menor edad (Figura 12).

En términos generales, un par de ramas corresponde a una cruz, si se forma un par de ramas por mes, en un año se obtendrán 24 ramas, es decir, 12 cruces, si la tasa de crecimiento se encuentra por debajo de dos ramas por mes, esto significa que se necesita un poco más de tiempo para la formación de dichas estructuras en el árbol, por consiguiente, tanto la altura como el número de ramas formados en el tiempo son variables complementarias para definir la duración de los ciclos de producción.

Producción anual de café cereza

El inicio de la etapa productiva en el cultivo de café está determinado en gran parte por el manejo agronómico desde las etapas previas (germinador, almácigo, establecimiento y crecimiento vegetativo), según la fecha de siembra, el registro de la primera cosecha ocurre entre los 18 y los 30 meses de edad de la planta, dependiendo de las condiciones de oferta ambiental. Por consiguiente, los ciclos de producción relacionan no solo la cantidad de cosechas que una plantación puede producir antes de la renovación, sino también el número de años en los cuales se alcanza ese número de cosechas. La producción anual en función de la densidad de siembra, sigue un patrón de comportamiento que se caracteriza por presentar las menores producciones con un número reducido de plantas por hectárea, lo cual conduce a tener que esperar muchos años para obtener los volúmenes de producción deseados y ante un mayor esfuerzo para el mantenimiento de las áreas de cultivo, los costos de producción son significativamente más altos.

Establecer un número de plantas adecuado, de acuerdo con las condiciones de oferta de las zonas agroecológicas descritas para la caficultura del Huila, permitirá un manejo más eficiente de los sistemas de producción para lograr una mayor productividad.

En el municipio de Acevedo, la mayor producción en tres cosechas anuales registradas, se obtuvo con la densidad de siembra de 10.000 plantas/ha. Los años 2019 y 2020 se caracterizaron como períodos de cosecha abundantes, con incremento de la producción en todas las densidades de siembra (Figura 13).

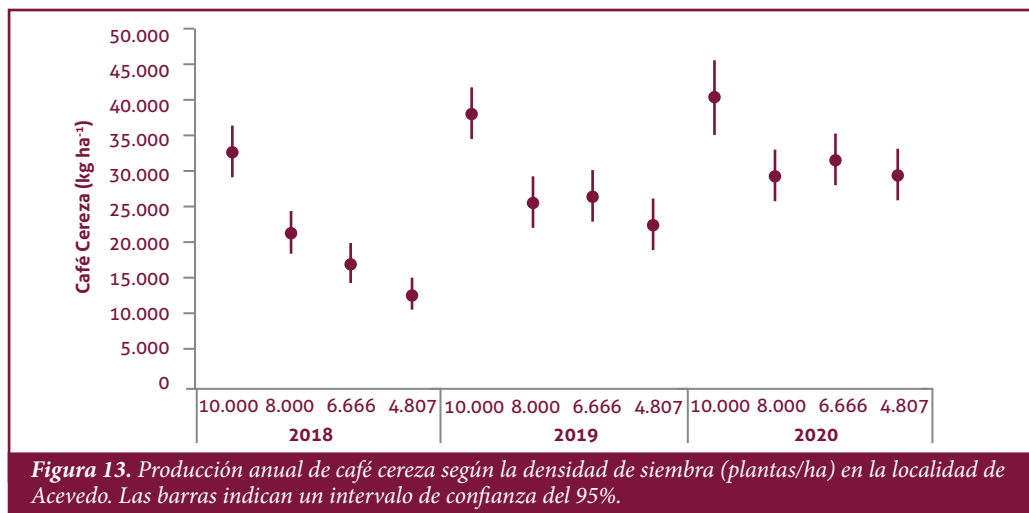


Figura 13. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de Acevedo. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

El análisis de la cosecha anual en la localidad de Pitalito, presentó en el 2018 los mayores promedios de producción de café cereza, con las densidades de siembra superiores a 6.666 plantas/ha, en el segundo año la densidad de siembra de 8.000 plantas/ha registró una mayor producción con relación a la población de 4.444 plantas/ha. En 2020 la mayor producción se obtuvo con la densidad de 10.000 plantas/ha (Figura 14).

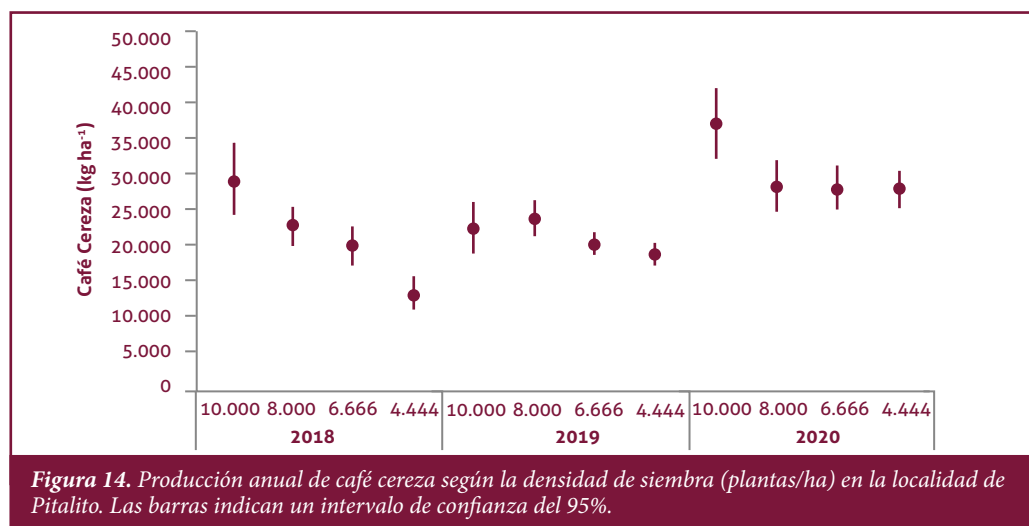


Figura 14. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de Pitalito. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

En el municipio de Gigante las densidades de siembra de 8.000 y 10.000 plantas/ha registraron las mayores producciones con relación una la población de 4.762 plantas/ha, durante los tres años analizados. En la cosecha de 2020 la producción obtenida con la densidad de siembra de 10.000 plantas/ha se redujo frente a la registrada el año anterior (Figura 15).

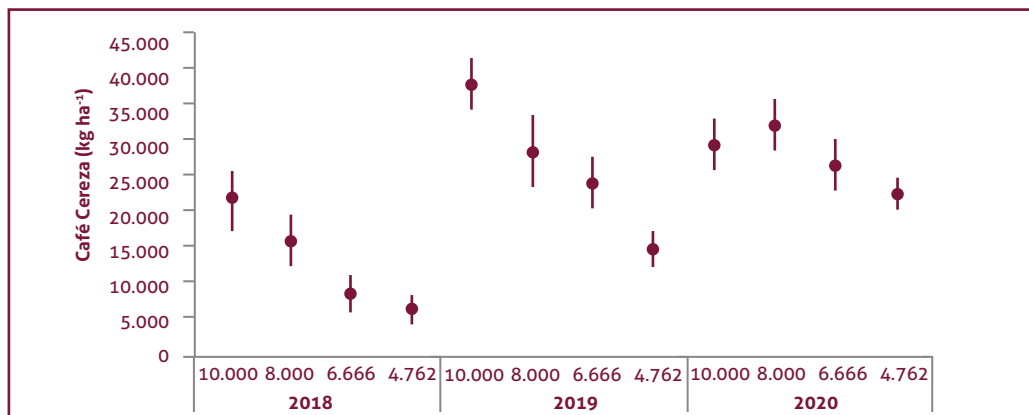


Figura 15. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de Gigante. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

En La Plata, el año 2019 determinó la máxima producción en las tres cosechas registradas, con las densidades de siembra mayores a 6.666 plantas/ha; así mismo, en el 2018 y 2019 estas densidades de siembra registraron producciones superiores a las obtenidas con una densidad de 3.460 plantas/ha. En el año 2020 la producción de 6.666 y 10.000 plantas/ha fue mayor respecto al promedio registrado con una población de 3.460 plantas/ha (Figura 16).

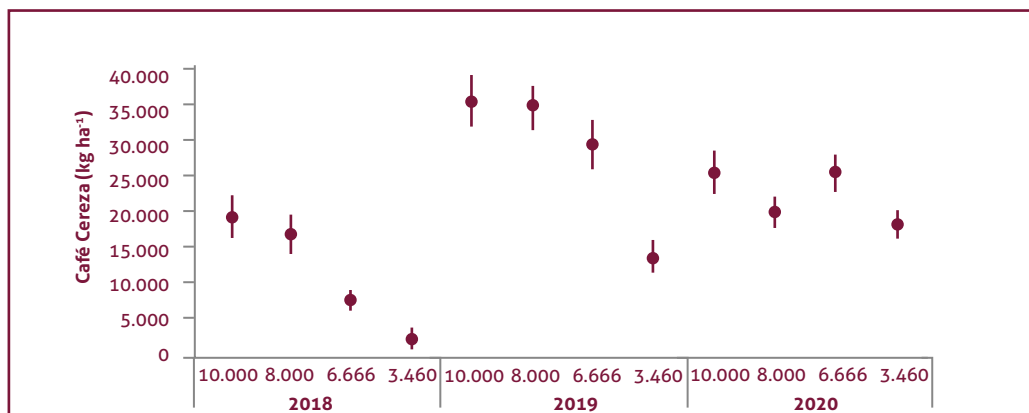


Figura 16. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de La Plata. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

Los primeros registros de producción en el municipio de Santa María iniciaron a finales del año 2018, de acuerdo con el patrón de cosecha descrito para la zona Norte, la cosecha

principal se registra en el primer semestre, lo cual explica la mínima cantidad de café cereza recolectado en ese momento; en el año 2019 se registró la mayor producción con la densidad de siembra de 10.000 plantas/ha. La cosecha del año 2020 registró los mayores promedios de producción con 8.000 y 10.000 plantas/ha (Figura 17).

Un total de dos cosechas se registraron en el municipio de Teruel. En esta localidad la mayor producción del año 2020 se obtuvo con las poblaciones de 8.000 y 10.000 plantas/ha (Figura 18), esta respuesta de los sistemas de producción establecidos con altas densidades de siembra a plena exposición solar, en el departamento del Huila, fue consistente y hace factible el incremento en el número de plantas para obtener ciclos de producción con mínimo cuatro cosechas.

Un aspecto que debe considerarse en los sistemas de producción de café en la zona Norte del departamento, es la mayor duración del período vegetativo de las plantas y el inicio de la primera cosecha después de los 24 meses de edad. En este caso para alcanzar ciclos de producción de cuatro cosechas, la plantación puede permanecer a libre crecimiento hasta una edad de seis años antes de la renovación por zoca.

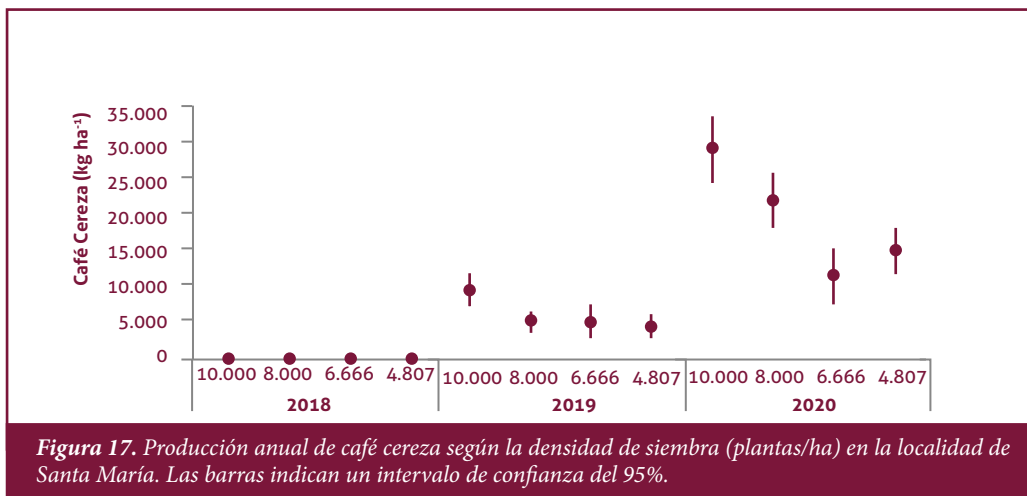


Figura 17. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de Santa María. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

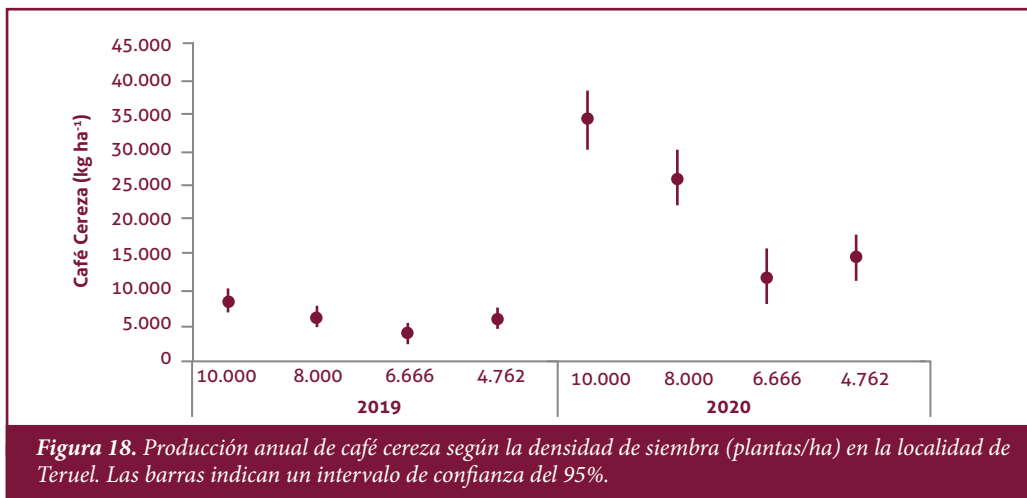


Figura 18. Producción anual de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en la localidad de Teruel. Las barras indican un intervalo de confianza del 95%.

Producción de café cereza acumulada

En las localidades de Acevedo y Pitalito la mayor producción acumulada en tres años de cosecha, se alcanzó con las densidades de siembra de 8.000 y 10.000 plantas por hectárea, en comparación con una densidad de siembra menor a 5.000 plantas por hectárea (Figura 19). Los altos volúmenes de producción registrados hasta la tercera cosecha en estos sitios, muestran una avanzada competencia de las plantas con deterioro de las ramas del tercio inferior y medio, lo cual conlleva a la formación de la cuarta cosecha sobre las ramas ubicadas en el tercio superior.

En Gigante y La Plata la mayor producción acumulada en tres años de cosecha se alcanzó con las densidades de siembra superiores a 6.666 plantas por hectárea (Figura 19). En estas localidades para el cuarto año de cosecha, las poblaciones con altas densidades de siembra muestran una menor competencia a diferencia de lo descrito para la zona Sur, esta es una condición a favor para el escalamiento en el número de plantas a establecer por hectárea, con ciclos de producción de mínimo cuatro cosechas.

Para una producción acumulada de dos cosechas en las localidades de Santa María y Teruel, la mayor producción acumulada se obtuvo con densidades de siembra de 8.000 y 10.000 plantas por hectárea (Figura 19). En consistencia con lo expuesto anteriormente, una característica de los sistemas de producción establecidos a plena exposición solar en estas localidades, es la capacidad de alcanzar ciclos de producción de mínimo cuatro cosechas con edades cercanas a los seis años.

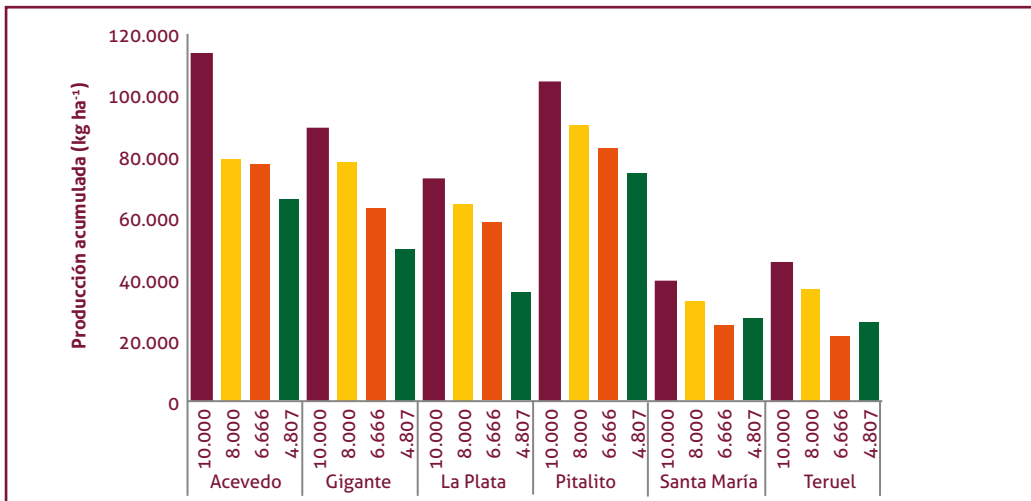


Figura 19. Producción acumulada de café cereza según la densidad de siembra (plantas/ha) en seis localidades del departamento del Huila.

En la zona Norte del departamento, de acuerdo con la descripción del crecimiento de las plantas de café (Tablas 3 y 4), para una misma edad, se presenta una menor altura y un menor número de ramas formadas en comparación con las demás localidades evaluadas, este panorama permite proyectar el incremento en las poblaciones de plantas a establecer por hectárea y un uso más eficiente de la oferta hídrica y lumínica en estos sitios.





El arreglo espacial en cuadro o en rectángulo con densidades de siembra entre 6.666 y 10.000 plantas por hectárea cumple un papel importante en la administración de las labores de manejo agronómico del cultivo, para los terrenos de alta pendiente un arreglo rectangular permite distribuir los surcos a través de la pendiente y facilita el recorrido de los operarios para realizar las diferentes labores. Si el terreno es plano y en las áreas de cultivo se presentan con frecuencia corrientes de aire frío que provocan daño en los puntos de crecimiento de las ramas y del tallo, el arreglo espacial en cuadro proporciona una barrera para mitigar este efecto.

Recomendaciones para el manejo agronómico de los sistemas de producción a libre exposición solar

El departamento del Huila posee características de oferta climática y propiedades de suelos con un alto potencial para el cultivo de café, ya sea acompañado de árboles de sombrío en aquellas zonas con mayores limitantes por déficit hídrico, o en sistemas establecidos a plena exposición solar en los sitios que cuentan con una mejor distribución de las lluvias en el año.

La densidad de siembra para la caficultura de la zona Norte del departamento, en sistemas a plena exposición solar, tiene la opción de escalarse hasta 10.000 plantas/ha con variedades de café de porte bajo como Cenicafé 1 y Castillo Zona Sur; si los terrenos son de alto grado de pendiente una densidad de siembra de 8.000 plantas/ha, establecida con un arreglo espacial rectangular, es adecuada para el desplazamiento de los operarios y facilita la logística en la cosecha. Los ciclos de producción con estas densidades de siembra se proyectan para una edad promedio de seis años.

En el Centro del departamento la caficultura a plena exposición solar con densidades de siembra en un rango de 8.000 a 10.000 plantas/ha presenta la mejor condición, para obtener ciclos de producción de cuatro cosechas, en un período de tiempo de cinco años aproximadamente.

Una mayor oferta hídrica, asociada con un rápido crecimiento de las plantas de café y registros de alta producción desde el segundo año de edad, en la zona cafetera Sur del departamento, son propicias para el establecimiento de densidades de siembra de aproximadamente 8.000 plantas/ha, con ciclos de producción proyectados a cuatro cosechas en períodos de cinco años.

La planificación oportuna de la renovación para recuperar la capacidad productiva de los sistemas de producción, una vez se completa el ciclo, es una condición para mantener la estabilidad de la producción a través del tiempo. La época recomendada para la renovación está indicada por el patrón de cosecha y la disponibilidad hídrica, después de la cosecha principal al finalizar el ciclo de producción, la renovación por zoca se efectúa en tiempo seco para evitar una mayor pérdida de sitios por la presencia de llaga macana, la renovación por siembras requiere períodos lluviosos para garantizar suficiente humedad en el suelo.

Durante la renovación por zoca o siembra la población de plantas inicial debe mantenerse, para lograr la recuperación de los sitios muertos en la etapa de levante del cultivo, es necesario disponer de almácigo suficiente con el fin de hacer las resiembras. En la obtención del material vegetal para siembra deben seguirse las recomendaciones que garantizan la calidad fitosanitaria y buen desarrollo de los colinos con las variedades de café certificadas para la caficultura colombiana.

La nutrición del cultivo tiene como punto de partida el análisis de fertilidad del suelo, la vigencia de estos análisis es de dos años. Una correcta fertilización depende del conocimiento de las propiedades del suelo y de las épocas recomendadas de aplicación para un mayor aprovechamiento de los nutrientes.

El manejo integrado de arvenses a través de las diferentes estrategias de control (manual, mecánico y químico), es determinante para reducir la competencia de estas especies sobre el cultivo de café, además un correcto manejo de las coberturas en el suelo presenta ventajas sobre la conservación de los suelos y es importante para el equilibrio y la supervivencia de diferentes controladores biológicos de plagas de interés económico del café. Los dos primeros años de crecimiento de las plantas representan el período de mayor intensidad en los controles para evitar disminución en la producción del cultivo.

Para el manejo de los principales problemas fitosanitarios identificados en cada localidad, se cuenta con herramientas que deben adoptarse para tener éxito en las decisiones, los registros de floración para identificar los períodos críticos, el reconocimiento de las principales plagas y enfermedades, el monitoreo oportuno y las alertas tempranas son de gran ayuda para evitar prácticas y costos innecesarios.



Literatura citada

- Arcila Pulgarín, J. (2007). Renovación y administración de los lotes para estabilizar la producción de café en la finca. En J. Arcila, F. Farfán, A. Moreno, L. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia: crecimiento, desarrollo, floración y producción*. (1ra ed., pp. 145–160). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>
- Benavides Machado, P., Laiton-Jiménez, L. A., & López-Franco, F. (2019). Alertas tempranas para el manejo de plagas. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila*: Vol. 1. 2015-2019 (pp. 106–135). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_5
- Castro, A. M., Rivillas-Osorio, C. A., Serna-Giraldo, C., & Mejía, C. G. (2008). Germinadores de café: construcción, manejo de *Rhizoctonia solani* y costos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 368, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/4176>
- Farfán, F. (2020). Sistemas de producción: Conceptos y definiciones. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 14–33). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_1
- Gaitán, A., Villegas, C., Rivillas-Osorio, C. A., Hincapié, E., & Arcila, J. (2011). Almacigos de café: Calidad fitosanitaria manejo y siembra en el campo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 404, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/350>
- Gil, Z. N., Benavides Machado, P., & Villegas-García, C. (2015). Manejo integrado de las cochinillas de las raíces del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 459, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/637>
- Mestre, A., & Ospina, H. F. (1994). Manejo de los cafetales para estabilizar la producción en las fincas cafeteras. *Avances Técnicos Cenicafé*, 201, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/1061>
- Ramírez, H., Gil-Palacio, Z., Benavides Machado, P., & Bustillo-Pardey, Á. E. (2008). *Monalonion velezangeli* La chinche de la chamusquina del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 367, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/392>
- Rendón, J. R. (2020). Administración de sistemas de producción de café a libre exposición solar. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 34–71). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_2
- Sadeghian, S., Alarcón, V. F., Díaz-Poveda, V., Lince-Salazar, L. A., & Rey-Sandoval, J. C. (2019). Fertilidad del suelo y manejo de la nutrición. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 80–105). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_4
- Salazar, S., Hoyos, J., Quiroga-Mosquera, A., & García-López, J. C. (2019). Zonas agroecológicas. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila* (pp. 08–31). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0005_1

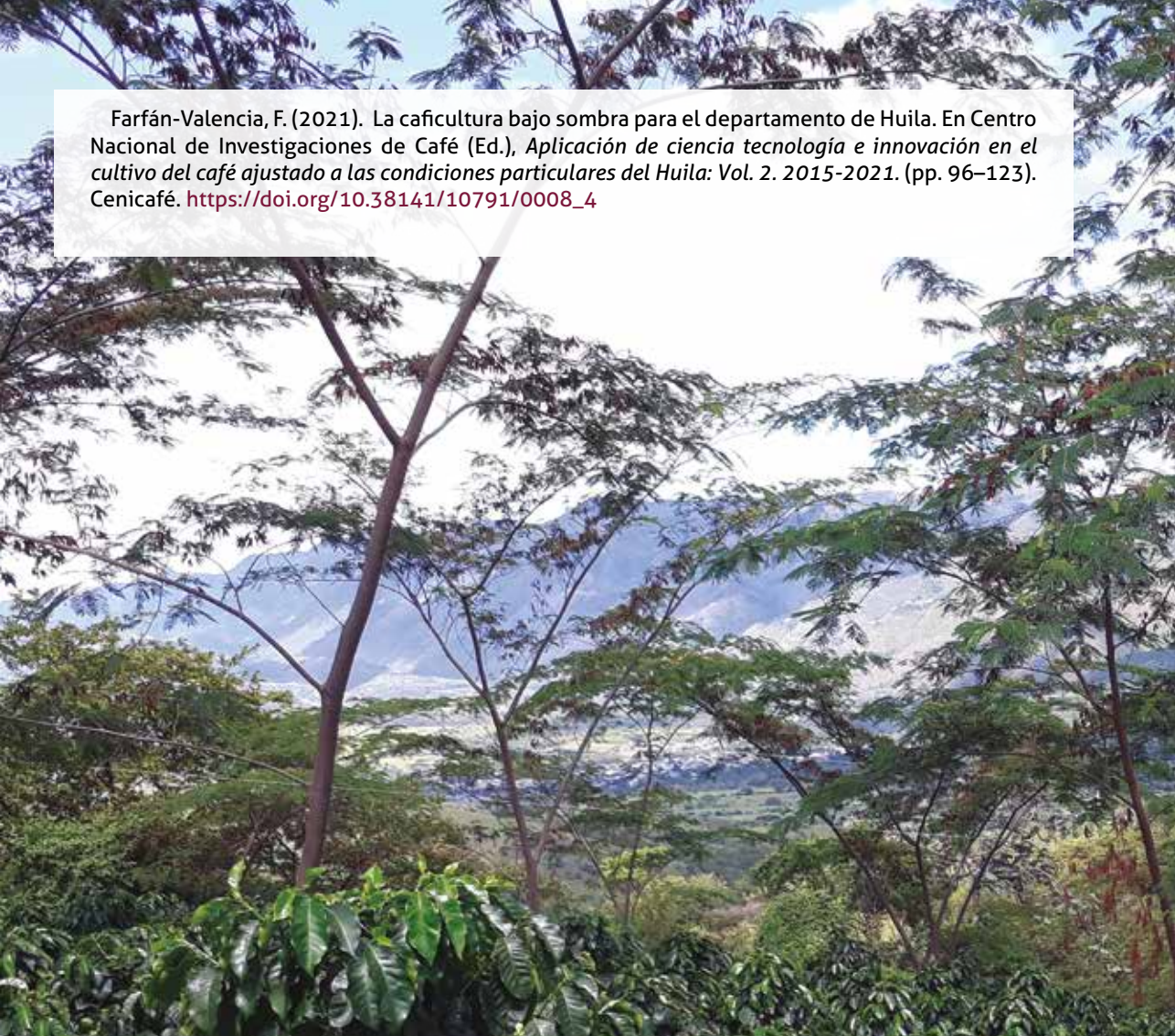


4

La caficultura bajo sombra para el departamento del Huila

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





Farfán-Valencia, F. (2021). La caficultura bajo sombra para el departamento de Huila. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Aplicación de ciencia tecnología e innovación en el cultivo del café ajustado a las condiciones particulares del Huila: Vol. 2. 2015-2021.* (pp. 96–123). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0008_4

Fernando Farfán Valencia
Investigador Científico II
Disciplina de Fitotecnia
<https://orcid.org/0000-0003-0976-8828>







INTRODUCCIÓN

La agroforestería es parte fundamental del proceso integral productivo del café; un sistema agroforestal cafetero es definido como el conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es el manejo y la conservación del suelo y el agua, y el aumento y mantenimiento de la producción, para garantizar la sostenibilidad y el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán, 2014).

La producción de café con el asocio de árboles tiene ventajas ambientales como la conservación y mejoramiento del suelo, reforzar y establecer la sostenibilidad de las fincas de los caficultores mediante la promoción de la diversificación productiva y capacitación en el manejo de sistemas, mejorar y mantener otros tipos de agricultura alterna, aumentar los niveles de materia orgánica del suelo, fijación del nitrógeno atmosférico y reciclaje de nutrientes, entre otros. Desde el punto de vista económico, los árboles en asocio con el café modifican el microclima dentro del cultivo, mediante el acondicionamiento del sitio del cultivo en regiones donde por condiciones de clima, no es factible el cultivo del café a libre exposición solar; así se optimiza la productividad del sistema mediante la producción sostenible. Desde el punto de vista social, brindan ambientes confortables, protegen de las inclemencias climáticas y embellecen el paisaje, entre otros.



¿Qué hace a un cultivo de café más vulnerable a las variaciones climáticas?

Entre las prácticas aplicadas al cultivo que lo hacen más vulnerable o expuesto a las variaciones de clima, con mayor intensidad en eventos climáticos El Niño, cabe mencionar:

- Establecimiento de cultivos a libre exposición solar, en zonas donde se requiere el sombrero.
- Obtención de semillas en sitios diferentes a los Comités Departamentales de Cafeteros.
- Almácigos de café elaborados por fuera de las fincas, que presenten colinos con malformaciones de la raíz ("cola de marrano").
- Siembras de café en épocas inapropiadas y fertilizaciones inoportunas.
- Cafetales envejecidos, sin establecer un plan de renovación del café.
- Establecer el café a bajas densidades de siembra o con distancias muy amplias entre calles.
- Alto porcentaje de sitios perdidos (>15,0%), sin las resiembras oportunas.
- Control excesivo de arvenses.
- Aplicaciones de fertilizantes foliares, urea y herbicidas en épocas secas.

La caficultura del departamento de Huila

La caficultura del departamento, en el año 2019, estuvo distribuida en 144.895 ha, cerca del 88,0% (129.149 ha) establecidas a libre exposición solar y el 12,0% (17.611 ha) bajo sombra o cultivos parcialmente sombreados. Con 14.120 ha en caficultura envejecida y 132.460 ha en caficultura tecnificada joven (FNC, 2021). En el año 2019, la mayor área con café, 53.915 ha, se encontraba en la zona Sur del departamento y a plena exposición solar; en la zona Centro había establecidas 35.924 ha y en la zona Norte, 31.598 ha, bajo el mismo sistema de producción. Las subregiones con menores áreas establecidas con café bajo sombra total o parcial, son la Centro y Norte, con 1.636 y 3.237 ha, respectivamente. Es decir, la caficultura del departamento es, en su mayoría, una caficultura tecnificada, a libre exposición solar (FNC, 2021).

En 2017 la producción del departamento fue de 2.580.000 sacos de café verde o almendra de 60,0 kg; equivalente a 15.480.000 de arrobas de café pergamino seco (193.500.000 kg), lo que indica que la producción media por hectárea, en el departamento, fue cercana a las 113,0 arrobas de café pergamino seco por hectárea (1.420 kg ha⁻¹ de café pergamino seco) (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia & Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2017).

En este documento se entregarán orientaciones para ajustar los sistemas de producción cuando por condiciones de clima, específicamente las deficiencias hídricas, sean limitantes para el cultivo, como en el departamento del Huila; teniendo presente

que la información presentada es producto de las investigaciones que se desarrollaron en seis municipios del departamento, en cumplimiento del proyecto “Identificación de las áreas con déficit hídrico y diseño de los sistemas agroforestales como medida de adaptación a la variabilidad climática”. Estas investigaciones se realizaron con recursos provenientes del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías – Gobernación del Huila, el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila.

Las investigaciones tuvieron como propósitos: (i) Caracterizar el modelo productivo de la zona cafetera del departamento del Huila y formular el ajuste tecnológico, de acuerdo con los resultados de la caracterización; (ii) Identificar los árboles de uso y su potencial para sombrío en café en el departamento de Huila; (iii) Definir las densidades de siembra y arreglos espaciales, para el ajuste del modelo productivo de la zona cafetera del Huila, hacia una caficultura climáticamente inteligente.

¿Cómo establecer el café bajo sombrío?

Las recomendaciones dadas a los caficultores para el ajuste o establecimiento de los sistemas de producción de café bajo árboles de sombrío, deben realizarse de acuerdo a las prácticas sugeridas en la estrategia “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad” (Figura 1).

Sitio de establecimiento del cultivo

Es importante considerar que el sombrío no es universalmente benéfico y que en algunas condiciones se registran desventajas asociadas especialmente con la restricción de la incidencia de la radiación solar, que es el principal factor determinante de la productividad. Igualmente, establecer sistemas de producción con café a libre exposición solar donde por condiciones de clima es necesaria la presencia de árboles de sombrío, es detrimental para la producción (Farfán, 2014).



Los sistemas de producción en sistemas agroforestales (SAF) o bajo sombra deben establecerse en zonas cuya temperatura media anual supere los 23,0°C, y si en determinados meses del año se presentan temperaturas máximas superiores a esta. También son recomendables para regiones donde la cantidad de lluvia anual sea inferior a los 1.200 mm, con períodos secos marcados durante más de cuatro meses continuos, en alguna época del año (primero o segundo semestre); estas condiciones de lluvia conducen a una falta de agua en el suelo o deficiencia hídrica, lo que provoca efectos negativos para el desarrollo y producción del cultivo. De igual manera, es necesario el establecimiento de sombra al café si la radiación solar supera las 1.800 horas de brillo solar al año, acompañada de una baja nubosidad (Jaramillo, 2005).

El clima cafetero del departamento del Huila

Variables de clima. La caficultura del departamento está ubicada entre los 1.200 y 2.000 m de altitud, con temperatura media anual de 18,9°C y brillo solar de 1.450 horas al año. Al analizar solo estos tres aspectos climáticos, podría deducirse que son las condiciones adecuadas para el establecimiento del cultivo a libre exposición solar, pero son la precipitación anual y las deficiencias hídricas marcadas, en períodos continuos del año, los que podrían ser limitantes para el cultivo, bajo este sistema (IGAC, 2017).

En este sentido, las deficiencias hídricas en el suelo donde se cultiva el café, superiores a 150 mm, por más de tres o cuatro meses continuos, son perjudiciales para el desarrollo vegetativo y productivo del cultivo; y ante esta situación, las alternativas son establecer riego en estas épocas o la implementación de sistemas de producción de café con el acompañamiento de árboles o en sistemas agroforestales (Jaramillo, 1982; Jaramillo, 2005; Peña et al., 2012; Ramírez et al., 2010).

Los síntomas iniciales observables en las deficiencias hídricas son marchitez de las plantas, amarillamiento y caída de hojas (Figura 2). En producción, las características sobresalientes son granos averanados, vaneamiento o falta de llenado del grano, y granos negros (Figura 3).



Figura 2. Síntomas iniciales de las plantas de café a la deficiencia hídrica del suelo. Finca La Vega, municipio de Teruel – Huila.



Figura 3. Síntomas en los granos de café a la deficiencia hídrica del suelo.

Precipitación mensual en cinco municipios del departamento de Huila. Variables de clima. En la Figura 4 se presentan las curvas de precipitación mensual en siete municipios de las subregiones Norte, Centro y Sur del departamento de Huila, durante el período 2015 a 2018 (Cenicafé, 2015, 2016, 2017, 2018). De las que puede extraerse que:

La precipitación media anual para las tres subregiones fue cercana a los 1.073 mm en 2015, 1.404 mm en 2016, 1.591 mm en 2017 y 1.338 mm en 2018, cantidades de lluvia anual que serían suficientes para el cultivo del café al sol; sin embargo, por su distribución bimodal anual, es decir, un período seco seguido de uno húmedo, hace que se presenten períodos secos, con deficiencias hídricas recurrentes en épocas determinadas del año. En la Figura 4, valores por debajo de los 150 mm (línea roja), indican deficiencias hídricas en el suelo.

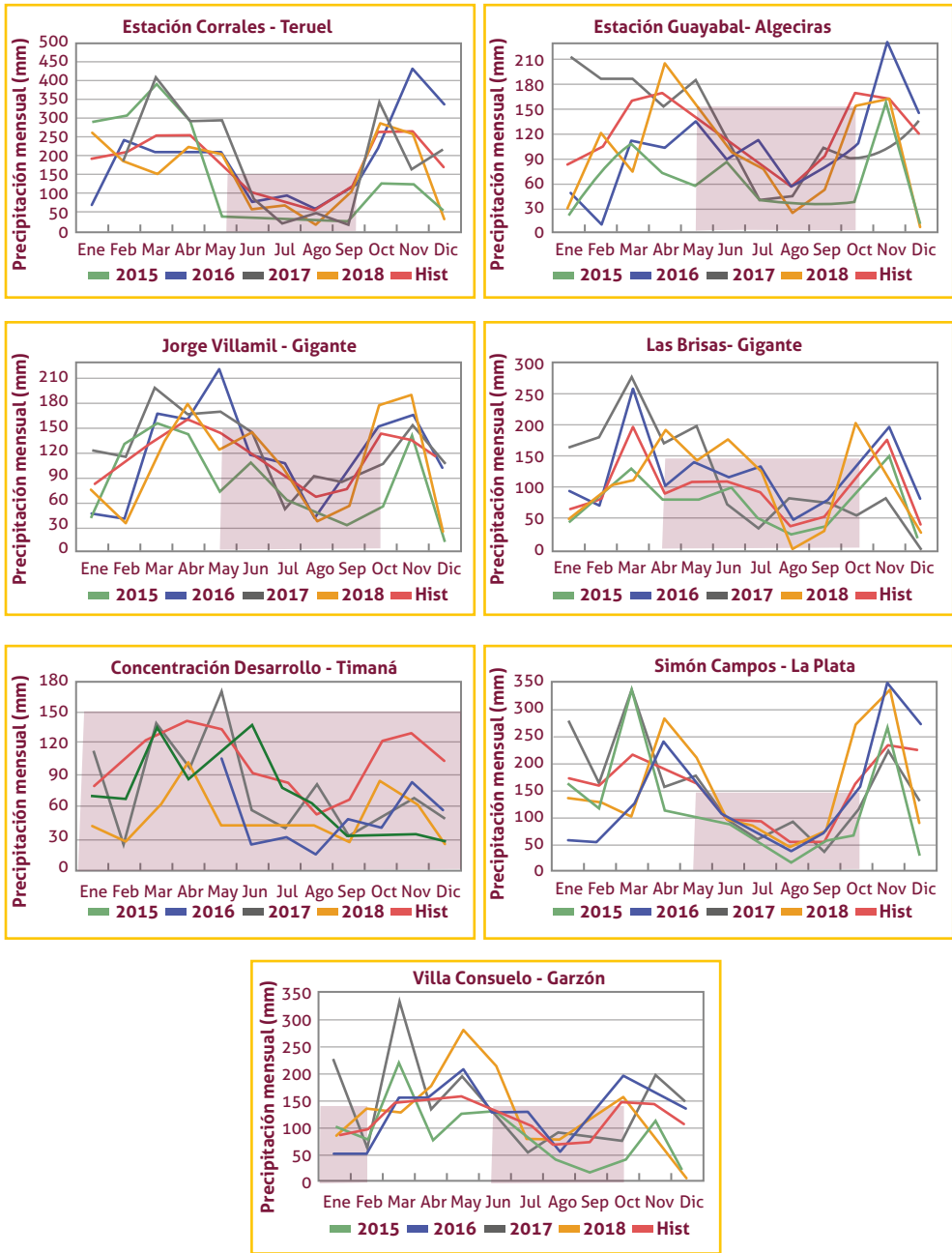


Figura 4. Curvas de precipitación mensual en seis municipios del departamento de Huila.

El análisis en este período, 2015 a 2018, a las estaciones meteorológicas convencionales y estaciones pluviométricas de los municipios Teruel, Algeciras, Gigante, Timaná, La Plata y Garzón, ubicados en las subregiones Norte, Centro y Sur del departamento, indica que

los períodos de deficiencia hídrica en el suelo oscilan entre tres y ocho meses del año, que pueden comprender los meses de mayo a septiembre (Tabla 1).

Tabla 1. Número de meses con déficit hídrico y deficiencia hídrica acumula, en siete estaciones pluviométricas del departamento de Huila.

Municipio	Estación	Año	Meses con déficit	Período	Deficiencia (mm)
Teruel	Corrales	2015	5	May - Sep	710
		2016	4	Jun - Sep	285
		2017	4	Jun - Sep	397
		2018	4	Jun - Sep	358
Algeciras	Guayabal	2015	7	Abr - Oct	710
		2016	4	Jun - Sep	285
		2017	5	Jul - Nov	397
		2018	4	Jun - Sept	358
Gigante	Jorge Villamil	2015	4	Jul - Oct	422
		2016	3	Jul - Sept	219
		2017	4	Jul Oct	284
		2018	3	Jul - Sept	267
Gigante	Las Brisas	2015	6	Dic - May	483
		2016	3	Dic - Feb	212
		2017	7	Jun - Dic	652
		2018	3	Dic - Feb	285
Timaná	Concentración Desarrollo	2015	6	Jul - Dic	637
		2016	7	Jun - Dic	757
		2017	7	Jun - Dic	678
		2018	8	May - Dic	832
La Plata	Simón Campos	2015	6	May - Oct	580
		2016	4	Jun - Sep	352
		2017	5	Jun - Oct	400
		2018	4	Jun - Sep	331
Garzón	Villa Consuelo	2015	4	Jul - Oct	413
		2016	-	-	-
		2017	4	Jul - Oct	288
		2018	3	Jul - Sep	172

De acuerdo con esta información y de las estaciones analizadas, las mayores limitantes por deficiencia hídrica se presentaron en la Estación Concentración Desarrollo en Timaná, con deficiencias hídricas cercanas a los 2.900 mm y hasta por ocho meses continuos; y en la Estación Guayabal en Algeciras, con deficiencias hasta de 1.750 mm, hasta por siete meses



Dadas las condiciones climáticas de algunas regiones del departamento de Huila es recomendable el establecimiento del café en sistemas agroforestales o bajo sombrío (Figura 5).



Figura 5. Sistema agroforestal con café. Finca El Cedral, municipio de Timaná – Huila.

Variedad de café a establecer

Se recomienda sembrar variedades mejoradas con resistencia durable a la roya del cafeto. Las variedades desarrolladas por Cenicafé son compuestas, lo que significa que son la mezcla de diferentes progenies, que difieren en su nivel de resistencia, pero que comparten excelentes atributos agronómicos como producción, calidad física del grano y calidad sensorial. Las variedades mejoradas con resistencia a la roya no requieren de la aplicación de fungicidas para el control de la roya, permitiendo la implementación de una caficultura rentable, sostenible y de calidad.

La única forma de garantizar la diversidad genética responsable de la resistencia estable y duradera a la roya es mediante la siembra de la semilla certificada producida por Cenicafé y adquirida en los Comités de Cafeteros o Almacenes del Café.



Las variedades Cenicafé 1, Castillo® General, Castillo® zonas Norte, Centro y Sur, y la variedad Tabi, se pueden establecer bajo sombrío, sin que se alteren sus cualidades productivas y de calidad.

Material de siembra – almácigos de café

Selección y siembra de chapolas. Sembrar chapolas sanas y vigorosas, provenientes de semilla certificada de las variedades antes mencionadas. Retirar las chapolas del germinador sin dañar la raíz, formar manojos y depositarlos sobre papel húmedo. Al sembrar la chapola en la bolsa, asegurarse que su raíz no quede doblada. Trasplantar las chapolas en las bolsas, cinco o seis meses antes de las épocas recomendadas para la siembra, según la localidad (Cenicafé, 2020 b).

Tamaño de bolsa, sustrato y encarre. El crecimiento y desarrollo normal de la raíz del colino de café está limitado por el tamaño de la bolsa. Cenicafé recomienda utilizar

bolsas de 17 cm de ancho x 23 cm de alto. Estas bolsas permiten mantener en buen estado los colinos hasta por seis meses. El sustrato debe contener de dos a tres partes de suelo por una parte de materia orgánica, como pulpa de café, gallinaza, pollinaza o lombricompostado (Cenicafé, 2020 C).

Fertilización. Para obtener colinos sanos y bien nutridos, puede emplearse abono orgánico en mezcla con el suelo o aplicar difosfato de amonio (DAP). Al momento de la siembra de la chapola, deben aplicarse micorrizas como *Glomus* sp. y *Entrophospora* sp., en dosis de 20 g por cada bolsa, y adicionalmente aplicar 2 g de DAP por bolsa, a los dos y cuatro meses después de siembra de chapola. Tener en cuenta que la fertilización foliar de las plantas en el almácigo es innecesaria, es un sobre costo y puede llevar a toxicidad de las plantas (Cenicafé, 2020 D).

Densidad de siembra del café bajo sombrío

La densidad de siembra del cultivo de café es un factor clave en la producción que debe definirse desde la etapa de establecimiento, para optimizar el uso del terreno en el sistema de producción. La densidad de siembra se define como el número de plantas a establecer por unidad de área; generalmente, se refiere al número de plantas establecidas en una hectárea. Los resultados de las investigaciones realizadas en el departamento de Huila sobre densidades de siembra del café bajo sombra, se presentan más adelante.

Sítios de realización del estudio. Se seleccionaron fincas en los municipios cafeteros de Tello, Algeciras, y Teruel, ubicados en la subregión cafetera Norte del departamento; en Tarqui y Garzón en la subregión Centro; y en Timaná ubicado en la subregión Sur (Tabla 2).

Tabla 2. Sitios de realización del estudio sobre densidades de siembra del café bajo sombrío.

Municipio	Vereda	Finca	Altitud (m)
Tello	La Cabaña	La Granja	1.079
Teruel	Sinaí	La Vega	1.200
Algeciras	Pinares	El Rancho	1.299
Garzón	Caguancito	El Crisol	1.447
Tarqui	Bélgica	La Ponderosa	1.350
Timaná	San Antonio	El Cedral	1.380

Material vegetal. De café se empleó la Variedad Castillo® General, y como sombrío se estableció *Albizia carbonaria* Britton. (carbonero, galapo) y *Erythrina fusca* Lour. (cámbulo o cachingo), ambas de la familia Fabaceae, a densidades de 70 árboles/ha.

Densidades de siembra del café evaluadas. Se evaluaron cuatro densidades de siembra, entre las 5.000 y 8.000 plantas/ha, distribuidas en tres arreglos espaciales, uno al cuadro, uno al rectángulo con los surcos en sentido Norte-Sur (1), y otro al rectángulo con los surcos en sentido Oriente- Occidente (2) (Tabla 3).

Tabla 3. Densidades de siembra del café y arreglos espaciales evaluados.

N°	Densidad siembra	Arreglo espacial	N°	Densidad siembra	Arreglo espacial	N°	Densidad siembra	Arreglo espacial
1	8.246	Cuadro	5	8.333	Rectángulo 1	9	8.333	Rectángulo 2
2	6.944	Cuadro	6	6.993	Rectángulo 1	10	6.993	Rectángulo 2
3	5.917	Cuadro	7	5.952	Rectángulo 1	11	5.952	Rectángulo 2
4	5.102	Cuadro	8	5.128	Rectángulo 1	12	5.128	Rectángulo 2

Producción registrada en las parcelas de investigación

En la Figura 6 se presenta la producción registrada en las parcelas de investigación, en kilogramos de café cereza, en un ciclo de evaluación comprendido entre 2017 y 2020, por localidad o municipio. En la Tabla 4 se presentan las producciones acumuladas promedio (kg ha^{-1} de café pergamino seco-cps), registradas en cada tratamiento evaluado, por cada una de las localidades.

De acuerdo a los resultados de las investigaciones sobre respuestas en producción de café, al variar la densidad de siembra y la disposición de las plantas en el campo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Municipio de Algeciras. Las mayores producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra de 8.000 plantas/ha, con iguales distancias de siembra entre plantas y entre surcos, al cuadro.

Municipio de Tello. Las máximas producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra de 8.000 plantas/ha, con distribución de los surcos de café en sentido Norte-Sur o al rectángulo 1, de acuerdo a los tratamientos formulados.

Municipio de Garzón. Las máximas producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra de 8.000 plantas/ha, con distribución de los surcos de café en sentido Norte-Sur o al rectángulo 1, de acuerdo a los tratamientos formulados.

Municipio de Tarqui. Las mayores producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra de 8.000 plantas/ha, en cualquiera de los arreglos espaciales del café evaluados, al cuadro o al rectángulo.



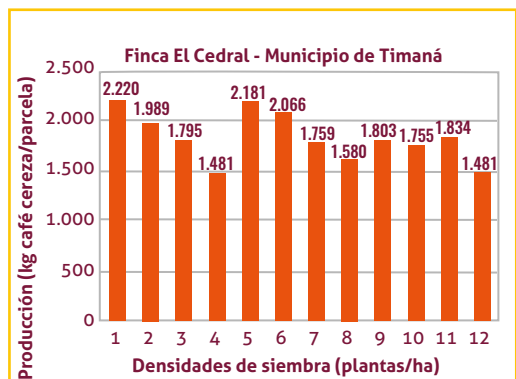
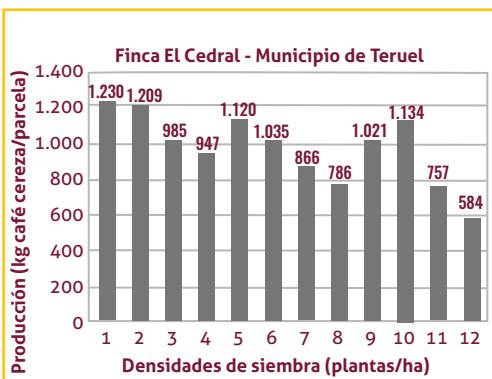
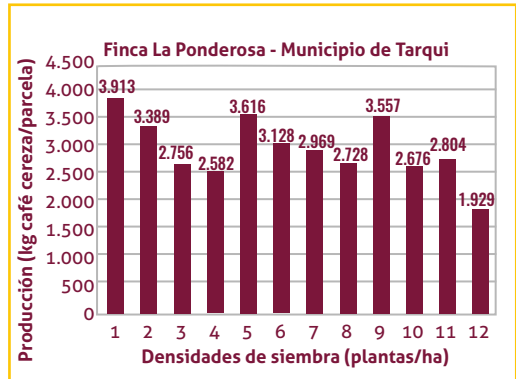
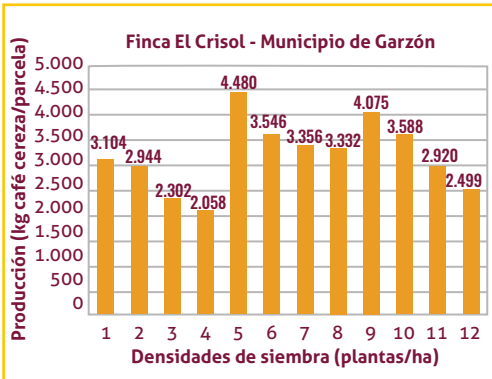
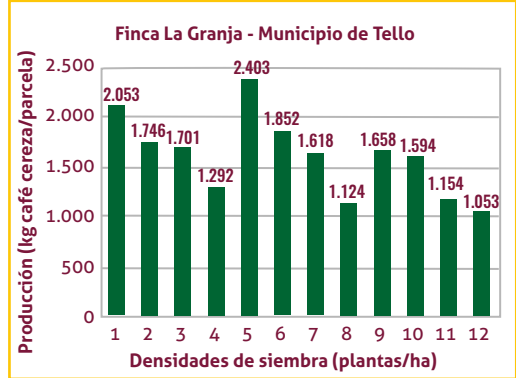
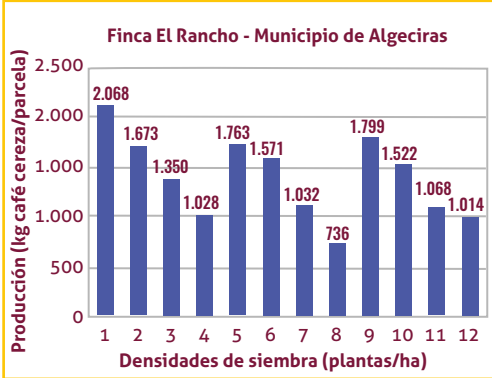


Figura 6. Producción registrada en las parcelas de investigación (kg de café cereza), en un ciclo de evaluación comprendido entre 2017 y 2020, por localidad o municipio.

Tabla 4. Promedio de las producciones acumuladas (kg ha⁻¹ de cps) registradas en cada tratamiento evaluado, por cada una de las localidades.

Trat.	Producción acumulada promedio (kg ha ⁻¹ de cps)						Promedio
	Algeciras	Tello	Garzón	Tarqui	Teruel	Timaná	
1	6.188	6.188	9.291	11.712	3.682	6.645	7.277
2	5.255	5.255	9.250	10.649	3.799	6.250	6.781
3	4.631	4.631	7.896	9.556	3.379	6.157	6.242
4	3.040	3.040	6.087	7.637	2.801	4.380	4.628
5	5.305	7.362	13.725	11.078	3.431	6.682	7.930
6	5.051	5.954	11.497	10.057	3.326	6.643	7.088
7	3.303	4.939	10.244	9.062	2.642	5.369	5.926
8	2.523	3.855	11.429	9.357	2.696	5.481	5.890
9	5.205	4.797	11.791	10.292	2.954	5.217	6.709
10	4.871	5.102	11.483	8.564	3.629	5.617	6.544
11	3.250	3.513	8.890	8.537	2.305	5.584	5.346
12	3.465	3.600	8.543	6.595	1.997	5.063	4.877

Municipio de Teruel. Las mayores producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra entre 7.000 y 8.000 plantas/ha, en cualquiera de los arreglos espaciales del café evaluados, al cuadro o al rectángulo.

Municipio de Timaná. Las máximas producciones se obtienen con el establecimiento del café a densidades de siembra de 8.000 plantas/ha, con distribución de los surcos de café en sentido Norte-Sur o al rectángulo 1, o al cuadro, de acuerdo a los tratamientos formulados.



La densidad de siembra del café en el departamento de Huila, al establecerse o ajustar el sistema de producción en sistemas agroforestales, podría fijarse entre 7.000 y 8.000 plantas/ha, en cualquier arreglo espacial.

Ciclo de producción o renovación del cultivo

El cultivo del café requiere de renovaciones periódicas y programadas de los árboles después que alcanzan su pleno desarrollo, si se quiere mantener un promedio de producción por unidad de superficie alto y rentable. Si no se hace renovación periódica, la producción declina año tras año, debido a la competencia por espacio, luminosidad y por efecto del deterioro físico de las plantas, que generalmente se doblan y se quiebran durante la labor de recolección (Farfán, 2020).

Diversas investigaciones realizadas por Farfán (2020) y en diferentes localidades del país, se obtuvo que en la zona cafetera Norte de Colombia (Norte de Santander), el ciclo de renovación del café Variedad Castillo®, determinado cuando la plantación alcanza el nivel de máxima producción, puede fijarse entre la tercera y cuarta cosecha, para densidades de siembra del café entre 7.200 y 9.000 plantas/ha.

En las zonas cafeteras Norte y Centro del país (Estaciones Experimentales de Pueblo Bello y Naranjal) con densidades de siembra del café superiores a las 6.000 plantas/ha, Farfán (2020) estableció que el ciclo para la renovación del café deberá realizarse una vez recolectada la quinta cosecha de café.



El ciclo de renovación podría fijarse posterior a la recolección de la quinta cosecha de café¹, para densidades de siembra entre 7.000 y 8.000 plantas/ha.

Época para la renovación del cultivo

La época de renovación está estrechamente relacionada con los períodos de cosecha del café. En Colombia se produce café durante todo el año; se obtienen dos cosechas, una de mayor volumen denominada “cosecha principal” y otra llamada “travesía o mitaca”, por lo tanto, la renovación debe realizarse según se presenta en la Figura 7 (Farfán, 2020).



¹ La recomendación, basada en resultados de investigaciones en diferentes localidades, se da debido a que los ciclos de producción evaluados no permitieron definir los ciclos para la renovación del café en el departamento de Huila.



En el departamento de Huila, si la cosecha principal ocurre entre los meses de abril a junio, la renovación deberá realizarse a inicios del segundo semestre.

Luminosidad

En Colombia es común establecer sombrío en los cafetales durante los primeros años después del establecimiento del cultivo, con plantas de corta duración, formando lo que se llama “sombrío transitorio”; posteriormente, se establece el sombrío permanente. En los primeros años de vida del cafeto su producción es escasa y por eso los caficultores tratan de compensar esta diferencia, estableciendo plantas de sombrío que produzcan algún fruto útil y a la vez se da tiempo al sombrío permanente para su establecimiento.

Las especies empleadas como sombrío transitorio deben ser de rápido crecimiento y tener una vida entre dos y cuatro años, tiempo en el cual el sombrío permanente debe estar cumpliendo su función; estas especies deben ser de rápida regeneración y que se adapten bien a las condiciones climáticas y de suelos donde se establecen, preferiblemente que no sean hospedantes de plagas y enfermedades, y que no requieran demasiada mano de obra para su mantenimiento.

Adicionalmente, las especies para el sombrío transitorio deben tener la capacidad suficiente para dar sombra al café en su fase de establecimiento y protegerlo de condiciones climáticas adversas, deben conservar el suelo, ser fáciles de eliminar al final del ciclo y su distribución en el campo no debe afectar el trazado y siembra del café, y preferiblemente que sirvan como fuente de abonos verdes y que ofrezcan alguna utilidad económica al caficultor (Farfán, 2016).

En el departamento de Huila se tuvieron experiencias y resultados positivos cuando se estableció como sombrío transitorio para el café, la especie leguminosa tefrosia, *Tephrosia candida* DC. (Fabaceae) (Figura 8). Entre las características distintivas de esta especie se puede indicar que son plantas arbustivas que alcanzan hasta los tres metros de altura. Las hojas poseen folíolos numerosos, sus flores son vistosas de color morado o violáceo, vainas grandes pubescentes. La primera floración se presenta de los tres a cinco meses, produciendo legumbres que miden de 7,5 a 10,0 cm. Las semillas y raíces son venenosas. La tefrosia es empleada como abono verde en cultivos manejados con prácticas orgánicas. Las plantas soportan las podas y rebrotan fácilmente. Crece muy bien en suelos pobres y es muy utilizada como sombrío transitorio en cultivos de café y cacao.



Figura 8. Cultivo de café con sombrío transitorio de tefrosia. Finca La Granja, municipio de Tello – Huila.

Distancias de siembra del sombrío transitorio. Para el departamento de Huila se sugieren las distancias y densidades de siembra del sombrío transitorio (Tabla 5), de acuerdo con las distancias de siembra del café para alcanzar densidades entre 6.000 y 8.000 plantas/ha.

Tabla 5. Distancias de siembra de la tefrosia, de acuerdo a las distancias de siembra del café.

Café			Tefrosia			
Surcos (m)	Plantas (m)	Densidad (plantas/ha)	Surcos (m)	Plantas (m)	D.S.I (plantas/ha)	D.S.F (plantas/ha)
1,2	1,0	8.333	1,2	0,40	20.800	10.400
1,2	1,2	6.944	1,2	0,40	20.800	10.400
1,3	1,2	6.410	1,3	0,40	19.200	9.600
1,5	1,1	6.061	1,5	0,30	22.200	11.100
1,4	1,2	5.952	1,4	0,35	20.400	10.200

Surcos. Distancia entre surcos; Plantas. Distancia entre plantas; D.S.I. Densidad de siembra inicial; D.S.F. Densidad de siembra final.

Manejo del sombrío transitorio. El manejo del sombrío transitorio, de acuerdo a la distancia de siembra, se centra básicamente en el raleo o eliminación periódica de plantas, hasta obtener una densidad de siembra cercana las 10.000 plantas/ha (Tabla 6). Los raleos se realizan cuando inicia la floración de la tefrosia. A los tres años de establecido el sombrío transitorio, y cuando el sombrío permanente está cumpliendo su función, debe eliminarse gradualmente. Tanto las plantas raleadas frecuentemente, como las eliminadas al final del ciclo, se repican y esparcen a lo largo de las calles del café para ser incorporadas al suelo como abono verde.

Tabla 6. Manejo del sombrío transitorio del café.

D.I. surcos (m)	D.I. plantas (m)	Manejo	PD.F. surcos (m)	D.F. plantas (m)
1,2	0,40	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco	1,2	0,8
1,2	0,40	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco	1,2	0,8
1,3	0,40	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco	1,3	0,8
1,5	0,30	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco	1,5	0,6
1,4	0,35	Raleo del 50% de las plantas, una por medio en cada surco	1,4	0,7

D.I. Distancia inicial entre surcos y plantas; D.F. Distancia final entre plantas y surco.

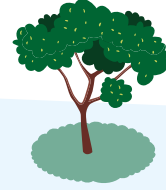


Si el sistema de producción de café en el departamento del Huila es con sombrío permanente, debe establecerse el sombrío transitorio durante la fase de levante o vegetativa del cultivo.

Sombrío permanente para el café

Se identificaron las siguientes especies de árboles que pueden ser empleados como sombrío del café. Estos árboles deben establecerse como sombríos permanentes, es decir, no deben ser eliminados en ninguna fase del cultivo.

Albizia carbonaria Britton, Fabaceae



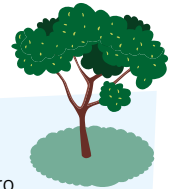
Nombre Común: Carbonero, galapo, pisquín, carbonero gigante, guamucho, dormilón, bayeto.

Árbol de 20 a 30 m de altura, tallo recto de más de 10 m y copa extendida, lo que lo hace ideal como sombrío para el café. Este árbol proporciona un sombrío suave o ralo, sus frutos son legumbres de 8 a 11 cm de largo y semillas secas. La corteza se desprende fácilmente y su madera es liviana. En Colombia se encuentra cultivada y espontánea en zonas entre 700 - 1.700 m, se cultiva en el paisaje cafetero, y crece espontáneo en lechos de ríos y bosques mixtos; se ha naturalizado tanto en Colombia que aparecen grandes poblaciones de esta especie en áreas degradadas, en suelos pobres y bien drenados, y es exigente en luz.

Sistema agroforestal. Es la especie preferida como sombra para café, porque mantiene las hojas en la estación seca, es una leguminosa con alto contenido en nitrógeno en las hojas (4% de la materia seca). En terrenos planos puede establecerse a distancias de 14,0 m entre plantas y entre surcos; si las pendientes superan el 15% puede establecerse a distancias de 12,0 m x 12,0 m (70 árboles/ha) (Farfán, 2007).

Producción de biomasa. No es una especie productora de una gran cantidad de biomasa. De esta especie se han obtenido a los 11 meses de edad, hasta 114,5 kg de biomasa verde; hay que recalcar que su uso más importante es como sombrío.

Erythrina fusca Lour., Fabaceae



Nombre Común: Cámbulo, cantagallo, písamo calentano, poró, cachimbo, cachingo, búcaro.

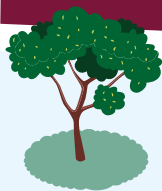
Árbol de 10 a 20 m de altura, tallo retorcido de 3 a 5 m, copa estrecha y cerrada, hojas verde-blancuzcas y flores anaranjadas, los frutos son legumbres o frijoles largos y delgados, con semillas negras. El árbol es frondoso, con espinas romas en el tallo principal y agudas en las ramas, corteza rojiza con brillo metálico en las partes jóvenes. Puede propagarse por estacones o estacas. En los lugares donde se encuentra espontáneo forma bosques, a lo largo de pantanos y ríos. Crece en zonas con altitudes entre 0 y 1.600 m, y temperaturas mayores de 19°C. Cultivado en el paisaje cafetero y espontáneo en el bosque mixto. Esta especie es recomendada como sombrío para cafetales.

Sistema agroforestal. Su uso principal es como árbol de sombra para café y cacao. El establecimiento como sombrío del café puede hacerse a distancias entre plantas y surcos de 12,0 m, si se establece como barreras vivas de árboles, puede sembrarse a distancias más cortas, 6,0 x 6,0 m o 9,0 x 9,0 m, si las pendientes del terreno son superiores al 50%. Como cerca viva puede establecerse a distancias de 3,0 m entre plantas. Es preferida frente a otras especies por la rapidez de su establecimiento, crecimiento y la gran producción de biomasa.

Producción de biomasa. Plantada en rodales puros a 2,0 x 2,0 m puede producir cerca de 2,7 t ha-año⁻¹ de biomasa y establecida en sistemas agroforestales a 4,0 x 4,0 m puede aportar hasta 30 t ha-año⁻¹ de materia seca (Farfán, 2007).

3

Inga edulis Mart., Fabaceae



Nombre Común: Guamo rabo de mico, guamo santafereño, guajinicuil, guabo, guaba chilillo, guamo, rabo de mono, guamo churimo, guabillo.

Árbol que alcanza hasta los 30 m de altura, de tallo recto cilíndrico con corteza marrón claro, copa densa, ancha, aparasolada, que alcanza diámetros hasta de 15 m. Sus hojas son compuestas de 15 a 25 cm de longitud, de color verde oscuro, flores blancas y sus frutos son legumbres de 40 a 180 cm de largo, de color café verdusco, carnosos, con numerosas semillas negras en su interior, rodeadas por un arilo blanquecino, algodonoso y comestible. Las semillas no requieren tratamiento pregerminativo. Con floración abundante cada cuatro meses.

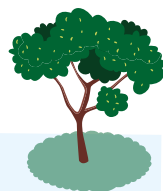
Se distribuye desde los 0 a 1.800 m, con precipitaciones de 800 a 1.200 mm por año, con una estación seca de hasta 4 meses y temperaturas de 20 a 26°C. Es común encontrarla a la orilla de caminos y ríos en formaciones de bosque secundario. Tolerancia a suelos semipermeables, con altos contenidos de aluminio. Fructifica en la estación húmeda. El período óptimo para la recolección de frutos es entre julio y agosto. Los frutos se recolectan directamente del árbol o del suelo.

Sistema agroforestal. Usada principalmente como árbol de sombra en cultivos de café, establecido a distancias de 12,0 x 12,0 m, es seleccionada como buen árbol para sombra por su fácil germinación por semilla, rápido crecimiento, capacidad de fijar nitrógeno, adaptabilidad a una amplia variedad de suelos, incluyendo ácidos y mal drenados, producción de abundante materia orgánica lo que contribuye al control de arvenses, transferencia de nutrientes y conservación de la humedad del suelo.

Producción de biomasa. El guamo santafereño en asociaciones con café como sombrío, pueden aportar cerca de 11,0 t ha-año⁻¹ de materia seca, 199,0 kg de N, 7,7 kg de P, 48,9 kg de K, 158 kg de Ca y 27,3 kg ha-año⁻¹ de Mg (Farfán, 2007).

4

Inga densiflora Bent., Fabaceae



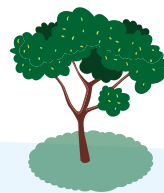
Nombre Común: Guamo macheto.

Árbol de 5 a 8 m de altura, tallo recto muy ramificado, copa del árbol poco extendida y estrecha, follaje verde oscuro, brillante, y denso, flores blancas, los frutos son vainas o legumbres anchas de color verde, planas y retorcidas, de hasta 40 cm de longitud, con semillas negras, con una carnosidad blanca, envolvente y comestible. La semilla inicia la germinación directamente en el fruto maduro. Este árbol se encuentra espontáneamente entre los 1.000 y 1.500 m de altitud y 19,5 a 22,5°C. Se cultiva en el paisaje cafetero. Crece bien en suelos profundos, bien aireados y bien drenados. Ha sido una especie apta para recuperación de suelos. Se encuentra asociada a los cafetales como sombrío. Útil como rompeviento.

Sistema agroforestal. En sistemas agroforestales además de ser útil como sombrío para el café establecido a distancias cortas (9,0 x 9,0 m), puede establecerse como cortina rompevientos; en SAF se cumplen las mismas funciones anteriores para este género.

Producción de biomasa. El guamo macheto en asociaciones con café como sombrío y establecido a 6,0 x 6,0 m aporta cerca de 6,0 t ha-año⁻¹ de materia seca, 115,8 kg de N, 3,0 kg de P, 32,4 kg de K y 9,0 kg ha-año⁻¹ de Mg (Farfán, 2007).

Erythrina poeppigiana (Walp.) O.F.Cook, Fabaceae



Nombre Común: Písamo, cachimbo, bucayo, búcaro, cámbulo saivo, cámbulo.

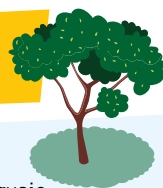
Árbol de más de 20 m de altura, tallo recto de 10 m, copa extendida, follaje denso, hojas ovaladas con las venas prominentes por el envés, flores como gallitos, vistosas y rojas, los frutos son vainas o frijoles de 10 cm de largo, que guardan unas seis semillas de color café-rojizo; en algunas regiones se comen las vainas a manera de legumbre. Posee espinas en el tallo. Se encuentra cultivado y espontáneo en zonas de 600 a 1.400 m y temperaturas de 20,5 a 24,5°C.

Cultivado en el paisaje cafetero y espontánea en el lecho de ríos. Su follaje sirve como abono y forraje. Es una especie fijadora de nitrógeno y apta para la recuperación de suelos, además de servir como cerca viva y sombrío, especialmente en el departamento de Santander. Crece en suelos de textura franco arcillosa a franca, con drenaje regular a algo excesivo. Es poco exigente a la fertilidad, se desarrolla también en suelos pobres, arenosos profundos y arcillosos.

Sistema agroforestal. Se emplea en sistemas agroforestales de todo tipo, agrosilvícolas, silvopastoriles y agrosilvopastoriles. Es una de las especies más importantes para sombra en café y puede establecerse a densidades de 70 árboles/ha, posee gran tolerancia a podas frecuentes durante largo tiempo, que permite ajustar la sombra del cultivo principal. Empleada como cercas vivas, puede plantarse a distancias de 3,0 m entre plantas.

Producción de biomasa. El Písamo, como sombrío, tiene el potencial de producir 39,1 t ha-año⁻¹ de materia seca y transferir al suelo 114,8 kg ha-año⁻¹ de N, 5,1,4 kg ha⁻¹ de P, 237,0 kg de K, 433,5 kg ha⁻¹ de Ca y 118,4 kg ha⁻¹ de Mg (Farfán, 2007).

Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit, Fabaceae



Nombre Común: Leucaena, carbonero blanco, acacia blanca, panelo, tamarindillo, acuna, guaje, yaje, hediondilla, sarcilla, lino criollo, aroma blanca, aroma mansa, acacia forrajera.

Árbol que alcanza hasta los 20 m de altura, corteza lisa y ligeramente fisurada, copa ligeramente abierta y rala, lo que la hace una especie de características adecuadas para el sombrío del café. Hojas compuestas, flores blancas y suavemente perfumadas, frutos en vainas aplanadas de 10 a 20 cm de largo, que se abren por sí solos, de color verde cuando están tiernas y se tornan color café cuando maduran, con 15 a 25 semillas cada una.

Es una especie de crecimiento rápido. Se encuentran distintas variedades nativas y se adapta bien casi desde el nivel del mar hasta los 900 m de altitud, y a sitios con 600 a 2.300 mm anuales de precipitación, con un período seco de cinco a seis meses. La temperatura óptima para el buen desarrollo de esta especie varía entre 22 y 29°C. Crece espontáneamente en lechos de ríos. Es una especie que tolera un amplio rango de suelos, desde rocosos hasta arcillosos, pero no crece bien en suelos ácidos, ni muy pesados, inundados o sobrepastoreados. La leucaena es excelente para leña y carbón,

Sistema agroforestal. Se cultiva como árbol de sombra para café, a menudo en asocio con *Inga* sp. y *Erythrina* sp. Si se establece como sombrío estratificado debe hacerse a distancias de 12,0 x 12,0 m. También se emplea como barrera viva, en linderos o como cercos vivos.

Producción de biomasa. La producción de biomasa (peso total de materia seca después de las podas y raleos) es en promedio de 22 t ha-año⁻¹ (Farfán, 2007).

7

***Albizia guachapele* (Kunth) Dugand, Fabaceae**

Sinonimia: Pseudosamanea guachapele

Nombre Común: Igua, igua amarillo, falso samán, nauno, roble amarillo.

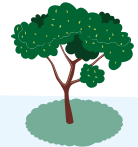
Árbol con altura superior a 20 m, tallo con fuste recto superior a 10 m, corteza de color grisáceo y fisurada finamente, madera amarilla, copa abanicada, hojas alternas de 40 a 60 cm de largo, follaje denso y permanente; el fruto es una legumbre (en forma de vaina) aplanada y sedosa (con una vellosidad corta y densa) de color pardo.

El árbol crece espontáneo y cultivado en zonas de 0 a 1.300 m, aunque crece mejor por debajo de los 800 m, en sitios con un nivel freático alto, prefiere suelos fértiles, pero tolera los infértiles y poco profundos. Es un árbol de crecimiento rápido, se adapta bien a las regiones cafeteras colombianas y es muy valioso por la calidad de la madera, ya que tiene resistencia a plagas. En su rango nativo se encuentra en áreas húmedas, subhúmedas y secas, a menudo en bosques de galería y en particular a lo largo de cursos de agua. Es una especie pionera, de rápido crecimiento y muy abundante en bosque seco secundario. Aunque es heliófila tolera sombra parcial de joven. Es algo resistente al fuego, no tolera heladas o suelos pesados con mal drenaje. Muy sensible a vientos, los cuales afectan mucho su supervivencia, forma y crecimiento.

Sistema agroforestal. Principalmente se da como árboles grandes, extensos y abiertos en pasturas, así como a veces en jardines. Se ha usado en plantaciones de pequeña escala (<200 ha), para madera de aserrío y puede encontrarse como árbol de sombra en cafetales. También se ha cultivado en plantaciones puras y mixtas a diferentes espaciamientos y en diferentes lugares.

Producción de biomasa. Las hojas se descomponen rápidamente por lo que pueden ser usadas también como abono verde para cultivos. Es una especie fijadora de nitrógeno (Farfán, 2007).

8

Pseudosamanea saman

Nombre común: Samán, campano, nauno.

Árbol de hasta 20 m, copa alta y ancha, de grandes y simétricas coronas, que forma de un paraguas muy extenso, su copa llega a medir hasta 50 m o más de diámetro; tiene hojas compuestas, dispuestas en pares de tres a nueve, y hasta de 10 cm de largo; las flores son rosadas, se reúnen en inflorescencias vistosas situadas al final de las ramitas; los frutos son legumbres o vainas oscuras de 8 a 20 cm de largo. Esta especie se utiliza como forrajera por sus legumbres verdes y por sus semillas que son comestibles. También se cultiva como ornamental.

Es un árbol de crecimiento lento, sus raíces son superficiales y es de vida larga. Se reproduce por semilla. Las vainas son un importante suplemento como forraje para el ganado durante la estación seca. La madera es de alta calidad para muchos propósitos y también proporciona leña y carbón de calidad.

Forma parte de bosques perennifolios y estacionalmente secos, pero en particular de aquellos abiertos de sabana. Muchos de los árboles que se encuentran en pastos pueden ser remanentes de bosques pasados. Es una especie pionera, que coloniza claros y campos abandonados.

Sistema agroforestal. Es una especie que requiere luz, con un extenso sistema radical y una copa amplia y extensa, no es apta para plantarla en espaciamientos cerrados bajo condiciones de plantación forestal. La especie crece bien a espaciamientos amplios, típicamente 10-20 árboles/ha. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que sus copas producen sombra excesiva, por lo que se debe buscar un equilibrio para proporcionar suficiente sombra (Farfán, 2007).

Densidades de siembra de los árboles comunes empleados como sombrío

En la Figura 9 se presentan las densidades de siembra, expresadas en el número de árboles por hectárea, comúnmente empleadas como sombrío en los sistemas de producción de café, en los seis municipios cafeteros del departamento de Huila.

Las máximas densidades de siembra de los árboles son de las especies *Albizia carbonaria*, *Gliricidia sepium* e *Inga edulis*; especies como *Inga densiflora* y *Cordia alliodora* se encuentra a densidades de ocho árboles por unidad de área; en términos generales, las densidades de siembra de los árboles para el sombrío del café, son muy bajas. Farfán (2014) sugiere como densidades de siembra óptimas para el café, 70 árboles/ha, para asegurar un nivel de sombreado óptimo, realizando un manejo adecuado y oportuno de los árboles.

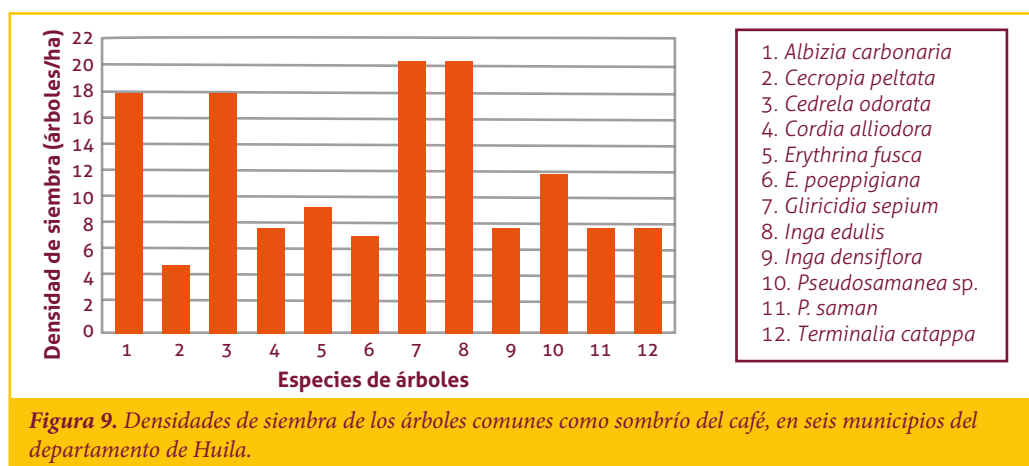


Figura 9. Densidades de siembra de los árboles comunes como sombrío del café, en seis municipios del departamento de Huila.

El porcentaje máximo de sombra para el café

En la Tabla 7 se presentan los máximos porcentajes de cobertura o sombreado de los árboles a mantener en el cultivo del café, según el número de horas de brillo solar anual, en cinco estaciones meteorológicas convencionales del departamento de Huila (Farfán y Jaramillo, 2009).

Tabla 7. Porcentaje de sombra máximo para el café, según el número de horas de brillo solar anual, en cinco localidades del departamento de Huila.

Estación	Municipio	Altitud (m)	Brillo solar (Horas)	Sombrío (%)
Jorge Villamil	Gigante	1.500	1.187	23,2
E. A. La Plata	La Plata	1.070	1.497	29,3
Palacio Vega Larga	Neiva	1.100	1.501	29,4
Zuluaga	Garzón	1.623	1.177	23,0
Jorge Villamil	Gigante	1.420	1.153	22,6

De los registros de número de horas de brillo solar anual, de estas cinco estaciones meteorológicas, podría inferirse que el máximo porcentaje de sombra para el café oscila entre el 20% y 30%. Del manejo y regulación periódica del sombrío (Farfán, 2019), procurando buena calidad y cantidad de luz dentro del cultivo (Figura 10), dependerán los máximos niveles de producción a alcanzar.



Figura 10. Árboles de bien manejados y con sombra regulada.



Dadas las características de clima en algunas regiones cafeteras del departamento, los sistemas agroforestales con café deben establecerse con especies leguminosas, que permanezcan acompañando el cultivo durante todo su ciclo de vida, aproximadamente 20 años, es decir, sombrío permanente; establecido a distancias de 12,0 x 12,0 m, o 70 árboles/ha.



El sombrío permanente debe regularse frecuentemente para garantizar un porcentaje de cobertura o sombreamiento entre 23% y 30%, y evitar afectar la producción.



La secuencia para el establecimiento del sistema es:

Trazado y siembra del sombrío permanente a densidad de 70 árboles/ha.

Trazado y siembra del café a densidades entre 6.000 y 8.000 plantas/ha.

Trazado y siembra del sombrío transitorio a densidades de 10.000 plantas/ha.

Nutrición del cultivo del café bajo sombrío

Para la expresión del potencial de un sistema de producción, además del conocimiento de los factores relacionados con los elementos climáticos, del suelo y el cultivo específico, se requiere de un programa de manejo de la nutrición, adecuado y eficiente, que garantice el suministro de las cantidades de nutrientes necesarios para mantener una máxima productividad y rentabilidad del cultivo, que además minimice el impacto ambiental (Arcila y Farfán, 2007). También merece especial atención la nutrición del cultivo, cuando se desarrolla en condiciones de monocultivo y a plena exposición solar, caso en el cual las necesidades nutricionales son mucho mayores que cuando se realiza el cultivo en sistemas con sombra. El conocer los requerimientos nutricionales de la planta no es condición suficiente para obtener óptimas producciones, además es necesario tener en cuenta los requerimientos según los sistemas de cultivo, las cantidades a aplicar, los métodos y las épocas de aplicación, las fuentes de los nutrientes a utilizar y cómo afectan las condiciones ambientales la disponibilidad de los elementos.

La nutrición del café bajo sombrío, al igual que en sistemas de producción al sol, debe basarse en los resultados de los análisis de suelos, estos análisis permiten:

- **Conocer cuáles nutrientes deben aplicarse en un cafetal, según su edad y sistema de cultivo.**
- **Saber qué problemas tiene el suelo y cómo solucionarlos, con aplicación de correctivos.**
- **Cómo hacer más eficientes las aplicaciones de fertilizantes, haciendo un mejor uso de los recursos.**
- **Definir áreas o lotes en la finca, por niveles de producción.**



Consideraciones finales

De los resultados obtenidos de tres actividades de investigación, se puede inferir que:

- Si los sistemas de producción de café están ubicados en regiones donde se presenten deficiencias hídricas en el suelo superiores a 150 mm por mes y por más de cuatro meses continuos, y que además en épocas secas o ante eventos El Niño, se registren temperaturas superiores a 25°C, incremento en el número de horas del brillo solar anual por encima de las 1.800 horas y reducciones en la precipitación por debajo de los 1.500 mm, el café debe establecerse en sistemas agroforestales o bajo la protección de árboles de sombrío.
- En los municipios cafeteros del departamento del Huila, donde se desarrollaron los estudios, es necesario realizar el ajuste del sistema de producción, lo que significa cambiar de caficultura a libre exposición solar a caficultura bajo sombra;

esto como medida de adaptación de los sistemas de producción a la variabilidad climática.

- Si no se realiza el ajuste a los sistemas de producción, como recomendación producto de las investigaciones, en épocas secas seguirá siendo frecuente la presencia de plantas con grados severos de marchitez por falta de agua, defoliación parcial o severa, amarillamiento general del follaje, y efectos en el desarrollo del grano manifiesto por los denominados granos negros, averanados o malformados, lo que afectará severamente la producción y la sostenibilidad económica del caficultor.
- Como sombrío del café se sugiere establecer especies leguminosas como *Inga edulis*, *I. densiflora* (guamos), *Albizia carbonaria* (carbonero gigante), *Erythrina fusca* y *E. poeppigiana* (cachingo, cámbulo), como sombrío simple o con una sola especie, o sombrío compuesto (dos o más especies).
- Los árboles de sombrío deberán establecerse a densidades de 70 árboles/ha y realizar el mantenimiento periódico para garantizar un porcentaje de sombreado entre el 25% y 30%; este porcentaje está en función del número de horas de brillo solar anual, donde se establecerán los árboles.
- En siembras nuevas de café o renovaciones por siembra se recomienda el establecimiento del sombrío transitorio; se sugiere la especie *Tephrosia candida* (tefrosia), en densidades cercanas a las 10.000 plantas/ha y solo durante los primeros tres años de vida del café, o cuando el sombrío permanente esté cumpliendo su función.
- Se definieron las densidades de siembra del café y arreglos espaciales para el ajuste del modelo productivo en seis municipios de la zona cafetera del departamento de Huila (Tabla 8).

Tabla 8. Densidades y arreglos espaciales definidos para el establecimiento del café en sistemas agroforestales, en seis municipios del departamento de Huila.

Municipio	Densidad de siembra del café (plantas/ha)	Arreglo espacial
Algeciras	8.000	Al cuadro
Tello	8.000	Surcos Norte-Sur
Garzón	8.000	Surcos Norte-Sur
Tarqui	8.000	Al cuadro o rectángulo 1
Teruel	7.000 a 8.000	Al cuadro o rectángulo
Timaná	8.000	Al cuadro o rectángulo 1

- El análisis general indica que los mayores beneficios en cuanto a producción se obtienen con densidades de siembra del café entre 7.000 y 8.000 plantas/ha, con arreglos espaciales al cuadro, o con iguales distancias de siembra entre surcos y entre plantas.

Literatura citada

Arcila, J., & Jaramillo, A. (2007). *Evaluación de los efectos de la deficiencia hídrica en la cosecha de café del primer semestre 2007, en el departamento del Huila*. Cenicafé.

Arcila, J., & Jaramillo, A. (2010). *Evaluación de los efectos de la deficiencia hídrica en la cosecha de café del primer semestre 2010, en el departamento del Huila*. Cenicafé.

Beer, J. W., Muschler, R. G., Kass, D., & Somarriba, E. (1998). Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, 38, 139–164. <https://doi.org/10.1023/A:1005956528316>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2015). *Anuario meteorológico cafetero 2014*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/660>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2016). *Anuario meteorológico cafetero 2015*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/660>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2017). *Anuario meteorológico cafetero 2016*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/660>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2018). *Anuario meteorológico cafetero 2017*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/660>

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020a). *Almacigo de café: Fertilización* [Infografía]. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/volantes/publicaciones_almacigo_de_cafe_fertilizacion

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020b). *Almacigo de café: Selección y siembra de chapolas* [Infografía]. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/volantes/publicaciones_almacigo_de_cafe_seleccion_y_siembra_de_chapolas

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2020c). *Almacigo de café: Tamaño de bolsa, sustrato y encarre* [Infografía]. Cenicafé. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/volantes/publicaciones_almacigo_de_cafe_tamano_de_bolsa_sustrato_y_encarre

Farfán, F. (2007). Producción de café en sistemas agroforestales. En J. Arcila, F. Farfán, A. M. Moreno, L.F. Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 161-200). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/4213>

Farfán, F. (2015). Instrumentos para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. *Boletín Técnico Cenicafé*, 39, 1–29. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/boletines_tecnicos/boletin_tecnico_no_39

Farfán, F. (2016). Sombríos transitorios para el establecimiento del café. *Boletín Técnico Cenicafé*, 41, 1–22. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/boletines_tecnicos/boletin_tecnico_no_41

Farfán, F. (2016). Sistemas agroforestales para establecer en la finca cafetera. *Avances Técnicos Cenicafé*, 474, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/4214>

Farfán, F. (2019). Descripción de la estructura del dosel arbóreo al interior de un sistema agroforestal con café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 501, 1–8. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/avances_tecnicos/avt0501

- Farfán, F. (2020). Administración del cultivo del café en sistemas agroforestales – SAF. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café (pp. 72–123). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_3
- Farfán, F., & Jaramillo-Robledo, A. (2009). Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. *Avances Técnicos Cenicafé*, 379, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/376>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2021). *Estadísticas Cafeteras*. Comité de Cafeteros de Caldas. <https://caldas.federaciondecafeteros.org/estadisticas-cafeteras/>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia & Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2017). *Atlas cafetero de Colombia*. Imprenta Nacional de Colombia.
- Jaramillo, A. (1982). Balance hídrico de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 33(1), 15–28. <http://hdl.handle.net/10778/876>
- Jaramillo, A. (2005). *Clima andino y café en Colombia*. Cenicafé.
- Peña, A., Ramírez, V., Valencia, J., & Jaramillo, A. (2012). La lluvia como factor de amenaza para el cultivo del café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 415, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/336>
- Ramírez, V., Jaramillo, A., & Arcila, J. (2010). Rangos adecuados de lluvia para el cultivo de café en Colombia. *Avances Técnicos Cenicafé*, 395, 1–8. <http://hdl.handle.net/10778/364>
- Salazar, L. F., & Sadeghian, S. (2016). Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a la fertilización antes y después de la zoca. *Revista Cenicafé*, 67(1), 81–93. <http://hdl.handle.net/10778/681>

Ciencia y Tecnología
para *el café*
del **Huila**



2015-2021

ISBN: 978-958-8490-45-8



9 789588 490458