



**FoNC**  
Fondo Nacional del Café



# INFORME ANUAL **Cenicafé** 2017





**Ministro de Hacienda y Crédito Público**  
Mauricio Cárdenas Santamaría

**Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**  
Juan Guillermo Zuluaga Cardona

**Ministro de Comercio, Industria y Turismo**  
María Lorena Gutiérrez Botero

**Director del Departamento Nacional de Planeación**  
Luis Fernando Mejía

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

**Comité Nacional**

Período 1° enero/2015- diciembre 31/2018

José Fernando Montoya Ortega  
José Alirio Barreto Buitrago  
Eugenio Vélez Uribe  
Danilo Reinaldo Vivas Ramos  
Pedro Gonzalo Carrillo Urariyu  
Javier Bohórquez Bohórquez  
Octavio Oliveros Collazos  
Edilberto Rafael Álvarez Pineda  
Jesús Armando Benavides Portilla  
Alfredo Yáñez Carvajal  
Carlos Alberto Cardona Cardona  
Alejandro Corrales Escobar  
Jorge Julián Santos Orduña  
Luis Javier Trujillo Buitrago  
Camilo Restrepo Osorio

**Gerente General**  
Roberto Vélez Vallejo

**Gerente Administrativo**  
Carlos Alberto González Arboleda

**Gerente Financiero**  
Juan Camilo Becerra Botero

**Gerente Comercial**  
Mario Eduardo Vega Roa (E)

**Gerente Técnico**  
Hernando Duque Orrego

**Director Investigación Científica y Tecnológica**  
Álvaro León Gaitán Bustamante

ISSN - 2145-521X

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

**Comité Editorial Cenicafé**

**Álvaro León Gaitán Bustamante**  
Ph.D. Director, Cenicafé

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

**Juan Rodrigo Sanz U.**  
Ph.D. Ing. Mecánico. Poscosecha, Cenicafé

**Carmenza Esther Góngora B.**  
Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

**José Ricardo Acuña Z.**  
Ph.D. Microbiólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé

**Siavosh Sadeghian Kh.**  
Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

**Secretaría Técnica Comité Editorial, revisión de textos y corrección de estilo**  
Sandra Milena Marín L.

**Diseño y diagramación**  
Óscar Jaime Loaiza E.

**Figuras**  
Carmenza Bacca R.  
Julieth Sofía Veloza B.  
Paula Andrea Marroquín B.

**Fotografías**  
Página 7, Humberto Iván Ríos  
Página 41, Luis Miguel Constantino C.  
Archivo Cenicafé

**Impreso por**  
Capital Graphic

# CONTENIDO



## Resumen ejecutivo

5

## Disciplinas de investigación

Agroclimatología  
Biometría  
Calidad  
Economía  
Entomología  
Experimentación  
Fisiología Vegetal  
Fitopatología  
Fitotecnia  
Mejoramiento Genético  
Poscosecha  
Suelos



15



## Disciplinas de apoyo a la investigación

Divulgación y Transferencia  
Tecnología de Información y  
Comunicaciones  
Unidad de Gestión de Proyectos

153

## Recursos humanos y financieros



163





# Resumen ejecutivo



# Resumen ejecutivo

## Centro Nacional de Investigaciones de Café



Las investigaciones de Cenicafé generan nuevos conocimientos y tecnologías de acuerdo con los lineamientos del Plan Estratégico de la Federación de Cafeteros y en concordancia con las directrices de su Gerencia Técnica. Durante el año 2017 se fortaleció el enfoque de las investigaciones hacia los tres componentes de la rentabilidad económica del cultivo: aumento de la productividad, mejora en la calidad y eficiencia en el uso de insumos y mano de obra. En este sentido, se condujeron 167 proyectos y actividades de investigación, dentro de las cuales se destacan los siguientes resultados.

### Producción, productividad y rentabilidad

#### Desarrollo de variedades

Se realizó el inventario y análisis de la diversidad conservada en la Colección Colombiana de Café (CCC), uno de los activos más importantes de la FNC, ya que contiene la diversidad disponible de *Coffea arabica* y que constituye la materia prima para el desarrollo de variedades mejoradas de café para Colombia. Como resultado de trabajos colaborativos entre Cenicafé y la Universidad

de Cornell (USA), se obtuvo el primer borrador del genoma de la variedad Caturra. El tamaño calculado del genoma es de 1.100 Mb, con un tamaño total de 497,66 Mb para el sub-genoma *C. canephora* y 490,32 Mb para el sub-genoma *C. eugenioides*. Este genoma se utilizó como referencia para la evaluación de la diversidad genética de una muestra representativa de la CCC, caracterizando a nivel del ADN, 190 accesiones Etiópicas y variedades, encontrando 1.261.806 variantes, lo que permitió determinar siete poblaciones ancestrales relacionadas con el origen geográfico de las muestras. Paralelamente, se sigue caracterizando la CCC por sus atributos agronómicos y tolerancia a estrés hídrico.

En poblaciones mejoradas se continúa con la selección por productividad, calidad en la bebida, calidad física del grano, resistencia a la roya, al CBD y adaptación. Algunas de estas poblaciones poseen fuentes de resistencia a la roya de origen diferente a las del Híbrido de Timor, lo que permite enriquecer la diversidad en la estrategia para el desarrollo de variedades con resistencia durable a esta enfermedad. Se implementó la selección asistida por marcadores moleculares para identificar progenies tolerantes



al CBD. Actualmente, se están evaluando aproximadamente 250 progenies avanzadas en pruebas regionales, en 15 municipios, de ocho departamentos cafeteros del país.

### Sistemas productivos

Para cumplir con el propósito de evaluar y validar prácticas agronómicas en sistemas de producción de café, actualmente se adelantan 14 investigaciones, comprendidas en cuatro proyectos relativos a cada fase del ciclo de vida del cultivo: (i) Fase vegetativa, (ii) Fase productiva, (iii) Renovación del cultivo, y (iv) Cultivos asociados al café. Las investigaciones están relacionadas con sistemas de producción de café bajo sombra y a libre exposición solar; se evalúa la eficiencia de los factores de producción del cultivo en aspectos como germinadores y almácigos, densidades de siembra, arreglos espaciales, ciclos y sistemas de renovación, fertilización, eficiencia en los costos de producción en café al sol y bajo sombrío. Se generan resultados de aplicación práctica tendientes a incrementar la producción cafetera.

En el sistema de producción de café a libre exposición solar se comparó la producción en sistemas de uno hasta tres tallos por sitio, indicando que la producción con dos tallos por sitio es 24% mayor que la de un tallo. En cuanto a arreglos espaciales pudo identificarse que la mayor producción acumulada se presenta en las Estaciones Experimentales La Catalina, Naranjal y Paraguaicito, con una menor producción en las Estaciones Experimentales La Trinidad, El Tambo y San Antonio; estos resultados confirman el efecto de la localidad sobre la producción, destacándose como factor determinante el arreglo espacial asociado a altas densidades de siembra. En la Estación Experimental La Catalina se evalúa el efecto de la población de tallos (seis densidades) sobre la producción de café cereza por hectárea, en tres arreglos espaciales; preliminarmente se ha establecido que cuando se siembran más de 7.400 plantas por hectárea y se dejan dos tallos por sitio, el incremento en la producción no es significativo para la primera cosecha del ciclo.

En sistemas agroforestales en la Estación Experimental El Tambo, las mayores producciones se obtienen con densidades de siembra del café cercanas a 7.000 plantas/ha y densidades de siembra del sombrío de 123 árboles/ha. En la Granja Blonay (Norte de Santander) los resultados parciales de producción indican que al aplicar dosis crecientes de fertilizante inorgánico, se evidencia que las mayores producciones se

obtienen con la aplicación del 100% de las dosis de fertilizante recomendadas en los análisis de suelos y con densidades de siembra de 9.000 plantas/ha. En la Estación Experimental Naranjal se obtuvo que en café Variedad Castillo®, las mayores producciones, 4.276 y 4.265 kg de café pergamino seco por hectárea, se obtienen con 9.575 y 9.070 tallos de café, respectivamente; incrementando en número de tallos por hectárea posterior al zoqueo, en café variedad Tabi, descopado a 1,6 m, la máxima producción de 2.478 kg de café pergamino seco por hectárea se obtiene con 7.315 tallos de café, y descopado a 1,8 m la producción fue de 2.547 kg.

Para la Variedad Castillo® se dio continuidad al estudio de la extracción de nutrientes durante las etapas de almácigo, levante y producción en los departamentos de Huila, Caldas y Quindío. Bajo condiciones de la Estación Experimental Naranjal, se determinó el efecto de 101 tratamientos de fertilización y enclavamiento en el crecimiento de las plantas de café durante la etapa de almácigo. Se resalta el uso de residuos de desyerbas como fuente de abono orgánico, en combinación con fósforo y micorrizas. En la Estación Experimental Naranjal también se evaluó de manera preliminar el funcionamiento de tres equipos para aplicar fertilizantes granulados (Bastón abonador, Guarany y Royal Cóndor), los cuales presentaron diferencias en la cantidad dosificada y el rendimiento. Finalmente, se encontró que los herbicidas pre-emergentes que se emplean en la etapa de establecimiento de café pierden su residualidad luego de 60 días.

### Sanidad vegetal

En el manejo integrado de la roya del cafeto se están evaluando moléculas y fungicidas de síntesis química, posibles inductores de resistencia y productos biológicos para el control de enfermedades de importancia económica y sus efectos en la producción. Los resultados obtenidos permiten sumar dos fungicidas (flutriafol + azoxystrobin y triadimenol) a los recomendados para el manejo de la roya en variedades susceptibles, y se consolidó el criterio de ajuste del inicio de las aplicaciones con base en la floración principal, en las diferentes regiones cafeteras. Ninguno de éstos y otros fungicidas evaluados tuvo algún efecto promotor del crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. Se confirmó que la reducción de la producción por efectos de la roya alcanza al menos el 29% si no se realiza control oportuno en una variedad susceptible como Caturra.

En cuanto a epidemiología, se desarrollaron dos nuevos diagramas de área estándar para la cuantificación de la roya, que mejoran la capacidad de los evaluadores en la estimación visual de severidad de la enfermedad en estado natural, para su monitoreo. Se realizaron avances en el desarrollo de modelos o expresiones matemáticas para explicar de forma rápida el comportamiento de la roya, con potencial para usarse en otras enfermedades, y así emitir recomendaciones tempranas o preventivas de manejo con base en el clima local y regional. De igual forma, se continúa con el monitoreo de la roya en genotipos experimentales de Caturra x Híbrido de Timor, y se sigue observando la aparición de razas del patógeno que van infectando estos materiales con diferentes grados de resistencia.

Para el caso de gotera, se continúa con las investigaciones sobre el comportamiento del hongo causante de la enfermedad en condiciones naturales y su caracterización biológica, patogénica y molecular, y se avanza en actividades exploratorias de seguimiento y manejo en dos estaciones experimentales. Por último, se está trabajando en el plan de contingencia y la directriz de respuesta ante enfermedades exóticas de alta importancia como el CBD, para prevenir su entrada a Colombia.

En cuanto a la broca del café, se generaron mapas de vulnerabilidad a partir de los parámetros de vida y la fertilidad a ocho temperaturas, encontrándose que la broca se desarrolla a mayores tasas entre 25 a 28°C, lo que

permitió mapear áreas por vulnerabilidad de acuerdo al clima. Se posee un ensamble mejorado del genoma de la broca con nuevas secuencias, las cuales permitieron identificar genes receptores que podrían ser usados para el diseño de insecticidas selectivos. Se evaluaron drones y equipos eléctricos y neumáticos para la aspersión de insecticidas que permitirán obtener una calidad física superior, un menor consumo de agua y pesticida, y mayor rendimiento en mano de obra. Se evaluaron en el campo, bajo un arreglo agroecológico, el tabaco y la lantana como plantas repelentes de la broca del café. Se evidenció en el campo el control que ejercen los depredadores *Solenopsis picea* y *Cathartus ahasverus* sobre la broca.

Se avanza en las investigaciones sobre las cochinillas de las raíces del café, hallándose que la especie más abundante en cinco departamentos de Colombia es *Geococcus*, un género al cual aún no se le asocian daños económicos en café; le sigue en importancia la especie *Puto barberi*, lo que la corrobora como la más distribuida y que mayores daños causa en el establecimiento de cafetales. Se encontró que cuando se zoquea un cafetal donde existen especies de cochinillas, el 98% de las raíces están vivas y tienen en promedio  $180,06 \pm 36,59$  cochinillas distribuidas de forma aleatoria. El hongo *Metarhizium robertsii* demostró causar mortalidad de *P. barberi*, hasta del 87%. Las arvenses *Sida rhombifolia*, *Artemisa absinthium* y *Emilia sonchifolia*, que acompañan los cafetales, muestran ser preferidas por *P. barberi*, mientras lo contrario ocurre con *Conyza bonariensis*. Se propone

una estrategia de control cultural usando este conocimiento.

La chinche de la chamusquina del café, *Monalonion velezangeli*, se encuentra atacando nuevas regiones en el Huila. Este insecto se está criando con éxito en plantas de *Cissus verticillata*, con lo cual se están obteniendo insectos para las pruebas de mortalidad de enemigos naturales. El hongo *Beauveria bassiana* cepa Bb 9011 ha causado una mortalidad de 63% a una especie de *Monalonion*. Se avanza en la identificación de un controlador biológico eficaz, con chinches de la familia *Reduviidae*.

La zona cafetera es reconocida por su alta biodiversidad, sin embargo, existen insectos nativos que pueden convertirse en plagas potenciales del café. Se describió una nueva especie de saltamontes, *Poecilocloeus coffeaphilus*, en el Suroeste Antioqueño, el cual causa daños al follaje y consume la pulpa de los frutos maduros. Se registraron ataques del escarabajo *Platycoelia valida* en el departamento del Huila causando defoliación, así como *Plectris pavidata* y *Astaena valida* en el departamento del Cauca consumiendo follaje. Se identificaron especies plagas de maíz atacando almácigos y siembras nuevas en el Valle del Cauca y Caldas. Se reportan insectos "vaquitas" *Naupactus* sp. y *Compsus viridilineatus* afectando zocas en Risaralda y Caldas. Se evaluaron con éxito cebos para el control de la hormiga polvo de tabaco *Wasmannia auropunctata* en Magdalena, la cual afecta a los recolectores en varios departamentos, dado que ocasionan picaduras y molestias durante la cosecha. Se reporta una nueva especie atacando

café en Norte de Santander, el gusano gelatina *Minacraga argentata*, con buen control natural por *Beauveria bassiana*. Se mantienen en el cepario de Cenicafé 328 cepas de hongos que controlan plagas. Se reporta a los mamíferos de los órdenes Didelphimorphia o marsupiales y Quiróptera o murciélagos visitando las flores del balsa negro en las noches, corroborando la hipótesis de que esta especie arbórea soporta la vida de esta taxa, la cual es importante para el equilibrio de los sistemas agroforestales del departamento de Santander.

### Agregación de valor, calidad y origen

En este año se realizaron tres proyectos sobre la caracterización de la calidad del café de fincas del Huila y Caldas, dos experimentos sobre tostación de café en relación con la calidad y la composición química del café, dos proyectos sobre la composición química de variedades de café arábica de Colombia, y una investigación sobre el defecto reposo del café. Igualmente se cataron 1.073 tazas de varias investigaciones y se generaron 385 reportes de resultados de calidad de café de las fincas, con recomendaciones de mejoras para contribuir al aseguramiento de la calidad del café desde la finca.

### Cosecha y Poscosecha

En la recolección del café con el fin de mejorar la eficiencia en la mano de obra, se han desarrollado evaluaciones de campo con lonas, mostrando una tendencia consistente a tener mayor masa recolectada por operario, obteniéndose en promedio 35,2% más de café recolectado, que con el método tradicional. Con relación al impacto del uso de la máquina derribadora y la espera entre pases de recolección sobre la necesidad de mano de obra, se realizaron tres pruebas correspondientes a la evaluación de las máquinas de las marcas Brudden y Husqvarna en la Estación Experimental El Tambo, en el pase de mayor flujo de cosecha, con un tiempo de espera de 35 días entre pases de cosecha, con el fin de tener mayor disponibilidad de frutos maduros. Con la derribadora Husqvarna se obtuvo un 43,2% más de café, lo que significó un ingreso neto de \$679.960,20, mientras que con el sistema manual fue de solamente \$457.229,56. Con la derribadora Husqvarna se obtuvo una reducción en el costo del café recolectado de 6,07% en la primera prueba, de 21,87% en la segunda prueba y de 25,12% en la tercera prueba. A pesar de tener un contenido

alto de frutos verdes en la masa cosechada (15%), se obtuvo rentabilidad por la mayor recolección y porque se buscó una alternativa para darle mayor valor al café verde recolectado.

Se puso en funcionamiento la Central Agroindustrial de Belén de Umbría (Risaralda), en cuyo Manejo Ambiental se observa que con el tratamiento de riego de las aguas residuales del módulo Ecomill® sobre la pulpa se controla la totalidad de contaminación posible con esas aguas, es decir, el 95,5% de la contaminación. Las otras aguas van a un Sistema Modular de Tratamiento de Aguas (SMTA) residuales, en donde al menos tienen una remoción del 80% de la carga orgánica, es decir, se espera que con esa eficiencia las aguas salgan del SMTA con máximo 1.000 mg.L<sup>-1</sup> de DQO. Dado que la Central Agroindustrial cuenta con un sistema de captación y abastecimiento de aguas lluvias para realizar el proceso y aseo de los equipos e instalaciones, la Huella Hídrica Verde se convierte en la única componente que tiene valor en la Huella Hídrica. En el caso del proceso realizado, el consumo específico de agua es solamente de 1,19 L.kg<sup>-1</sup> de cps en promedio. Por lo tanto, la Huella Hídrica Total del proceso es de 1,19 L.kg<sup>-1</sup> de cps, de las cuales el 100% corresponde a la Huella Hídrica Verde. Las Huellas Hídricas Gris y Azul son nulas.

En el control de la contaminación producida por las aguas residuales del lavado del café obtenidas con la tecnología Ecomill®, se evaluó la adición a la pulpa del café de las aguas del lavado (ARLs) resultantes de la tecnología Ecomill®, como alternativa para eliminar el impacto ambiental. Al adicionar a la pulpa las ARLs con relación de 2:1 (en L.kg<sup>-1</sup>), se logra la retención de fluidos en las primeras 24 h de 75% y 70%, utilizando el tornillo sinfin y mediante aspersión, respectivamente. Aplicando los drenajes de cada tratamiento a la pulpa, en tres oportunidades, se logra la retención total de 98% y 100%, respectivamente, corroborando lo observado a nivel de fincas y en Cenicafé.

Con el fin obtener las especificaciones de operación de un lavador de café para pequeños productores, se evaluó un equipo con capacidad de 280 a 300 kg.h<sup>-1</sup> de café lavado, accionado por un motor de 0,5 hp, que podría ser alternativa principalmente para pequeños productores de café en Colombia. Los mejores resultados en remoción de mucilago

(> 96%) y capacidad del equipo (> 280 kg.h<sup>-1</sup> de café lavado) se obtienen con rotaciones de 300 y 400 rpm y volumen específico de agua de 0,7 L.kg<sup>-1</sup> de cps. El daño mecánico ocasionado a los granos durante el lavado con el equipo varió entre 0,02% y 0,21%, inferiores a los observados en los equipos Ecomill®.

### Adaptación a la variabilidad climática

La disciplina de Agroclimatología fundamentó sus actividades en el conocimiento de las variaciones temporales y espaciales de los elementos climáticos y los impactos asociados al cultivo de café en Colombia. La red meteorológica convencional (EMC) operó con 210 estaciones y la red automática (EMA) con 146 estaciones. Del análisis de la temperatura de 41 EMA y EMC en paralelo, se deriva que es necesario hacer correcciones en los registros para suavizar las fluctuaciones y mantener la serie de datos a lo largo del tiempo. Se desarrolló una metodología de predicción decadiaria de periodos secos y húmedos en la zona cafetera del departamento de Caldas. En el marco del proyecto GIA, para la variable precipitación, se generó una metodología para el control de calidad y llenado de datos faltantes a nivel decadiario, y un aplicativo para la generación de alertas tempranas basado en el balance hídrico. A partir de la determinación de flujos de gases efecto invernadero y del balance de energía y agua, en el marco del programa UT Ricclisa, se encontró que sistemas de cafetos asociados con maíz o con especies forestales transitorias, en su primer año de establecimiento, son más eficientes en utilización de agua y energía para la producción de biomasa. Se ajustó la primera versión de la zonificación agroecológica del Huila; se verificaron seis zonas con similaridad de clima, suelo y relieve. Se diseñó una metodología de generación de mapas multianuales y en escenarios ENOS de lluvia, brillo solar y temperatura, en la zona cafetera colombiana.

### Alertas tempranas

La disciplina de Agroclimatología coordinó la elaboración del Boletín Agroclimático Cafetero mensual, que en septiembre llegó al Boletín 24, con información climática y las recomendaciones técnicas para el cultivo del café, de acuerdo con cada zona cafetera del país. Se accedió a los datos históricos de las redes convencionales y automáticas del IDEAM. La información después de depurada, junto con la información de la red cafetera, se utilizó en diferentes investigaciones para desarrollar estrategias de alertas tempranas, zonificación, variación multitemporal y cambios en escenarios de variabilidad climática (ENOS). De otra parte, mediante diagnósticos nacionales que se realizan con el Servicio de Extensión, se determinó que el promedio nacional de roya en variedades susceptibles estuvo cercano al 19%, el cual es alto, aunque algunos departamentos registraron promedios superiores, y se requieren medidas de manejo oportunas y eficientes, pero sobretodo de prevención para la nueva epidemia 2017-2018. En cuanto a las variedades resistentes, el promedio nacional estuvo por debajo del 2%, lo cual es positivo, aunque en algunos departamentos se registraron promedios cercanos al 5%, donde debe revisarse el origen del material de siembra, el manejo agronómico y las condiciones propias de algunos lotes.

### Gestión de recursos naturales

En cuanto al recurso suelo, con el fin de restaurar predios afectados por procesos erosivos, en las microcuencas asociadas al proyecto de Gestión Inteligente del Agua-GIA, se asesoró en la restauración ecológica de nueve sitios afectados por movimientos en masa. En el marco de este proyecto también se busca identificar el riesgo ambiental por movimientos en masa en la zona cafetera de la cuenca hidrográfica La Mica (Pácora, Caldas) con un área de 12,6 km<sup>2</sup>. Dentro del proyecto IDRC, se evaluó la vulnerabilidad del suelo a la variabilidad climática en 438 predios cafeteros de los departamentos de Risaralda (municipios de Balboa y Santuario) y Caldas (municipio de Salamina). Se generaron índices de vulnerabilidad del uso actual del suelo y la pérdida de este recurso por la erosión; adicionalmente, se inició el estudio de la lixiviación de nutrientes en las unidades cartográficas representativas de la zona.

Se realizó la caracterización de la fertilidad del suelo para todos los municipios cafeteros del departamento de Cauca, mediante el uso de la información histórica (16.439 registros). A través del proyecto de Sistema General de Regalías, se realizó un estudio similar para doce municipios de Huila (Acevedo, Agrado, Altamira, Garzón, Guadalupe, La Argentina, La Plata, Nátaga, Paicol, Suaza, Tarqui y Tesalia). Así mismo, para ocho unidades de suelo del departamento de Huila se cuantificó la capacidad de almacenamiento de agua, abarcando los siete municipios con mayor área cafetera. Se

determinó la capacidad del suelo para la fijación de fósforo, en 14 muestras procedentes de los departamentos de Antioquia, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Santander y Tolima.

Se avanzó en el estudio de la fertilización nitrogenada y su relación con las poblaciones de bacterias fijadoras de N de vida libre, bacterias nitrificantes y bacterias desnitrificantes. Además, se demostró que las plantas afectadas por una fertilización nitrogenada deficiente durante el ciclo de plantilla, pueden recuperarse luego de la zoca, siempre y cuando reciban una nutrición apropiada. En una investigación dirigida a la asociación de café con micorrizas, se encontró que la respuesta a la inoculación con *Rizoglosum fasciculatum* depende del nivel de fósforo en el suelo. Con respecto a los hongos solubilizadores de fosfatos, los resultados sugieren que la respuesta varía de acuerdo con el tipo de suelo.

En el aprovechamiento de los subproductos del café se evaluaron coagulantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales del café; para ello, se evaluó el extracto seco y molido obtenido de cuatro especies vegetales seleccionadas y su extracto después de un tratamiento salino. De acuerdo con los resultados de la investigación el mejor tratamiento desde el punto de vista técnico para el agua residual del beneficio del café a una concentración de 12.500 ppm como DQO fue el extracto de jatropha ( $1,5 \text{ g.L}^{-1}$ ) + hidróxido de calcio ( $3,0 \text{ g.L}^{-1}$ ) y para una concentración de 25.000

ppm como DQO fue el extracto de moringa ( $5 \text{ g.L}^{-1}$  ppm) + hidróxido de calcio ( $4,6 \text{ g.L}^{-1}$ ). Esta investigación permitió la selección de extractos de *Jatropha curcas* y *Moringa oleifera* como los apropiados para el tratamiento de las aguas residuales del café, a concentraciones de DQO de 12.500 ppm y 25.000 ppm, respectivamente, generando alternativas diferentes al tratamiento biológico y químico con sales de hierro y aluminio.

Se evaluó la capacidad de depuración e idoneidad de la tecnología de filtros verdes para el tratamiento de efluentes procedentes del beneficio del café (aguas mieles) para pequeños caficultores. En promedio, el agua proveniente del beneficio de café presentó un valor de DQO de 20.261 ppm. A la salida del reactor hidrolítico, con el dispositivo flotante de cabeza de presión constante, presentó un valor de DQO de 10.163 ppm, lo que refleja una remoción de DQO del 49,84%. Los tratamientos que estuvieron sometidos a la mayor carga orgánica fueron: la parcela 1 (testigo con pasto *Cyperus rotundus*, arvense natural del área de experimentación) mostró un valor promedio de DQO de 126 ppm (para una remoción total de la DQO del 99,38%) y la parcela 2 (tratamiento con pasto vetiver) mostró un valor promedio de DQO de 1.123 ppm (para una remoción total de la DQO del 94,46%), valores que permiten el cumplimiento de la normativa ambiental para vertimientos tanto al suelo como a cuerpos de agua.

Como parte de la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDDB), que promueve la formulación e implementación de acciones de mitigación o NAMAs en todos los sectores del país, coordinando acciones conjuntas para promover un desarrollo económico desligado de la generación de emisiones de Gases Efecto Invernadero - GEI, Cenicafé apoyó al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD en el diseño de la Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada (NAMA) para el sector cafetero, como una oportunidad para dar inicio a la implementación masiva de acciones sostenibles en la producción agropecuaria del país.

En el proyecto financiado por KFW, Cenicafé ha hecho énfasis en la documentación de los aprendizajes obtenidos en cuanto a la reproducción, manejo, contribución a la biodiversidad y percepciones de los beneficiarios de las especies forestales nativas adquirido durante la implementación de herramientas de manejo del paisaje (HMP). A la par, se han empezado a documentar los aprendizajes obtenidos en otros aspectos de la implementación del modelo. Finalmente, se han generado herramientas que han permitido hacer planeación y seguimiento de las actividades y de las implementaciones en cada microcuenca buscando alcanzar y monitorear las metas del proyecto y se generó la guía metodológica para la medición de la Huella Hídrica del Café de Colombia.

### Divulgación y transferencia

Durante la vigencia del presente informe se publicaron los Avances Técnicos 469 al 477, la Revista Cenicafé Vol. 67 No. 2 y Vol. 68 No. 1, el Anuario Meteorológico 2016, el libro Informe Anual de Actividades de Cenicafé del año 2016, así como el libro "Optimización operacional de secadores mecánicos para café

pergamino". Además de realizar 14 despachos con 47 publicaciones en total, con cobertura de 19.714 usuarios, Cenicafé mantuvo actualizados los contenidos de las páginas ***cenicafe.org*** y ***agroclima.cenicafe.org***.

Durante el año 2017 como apoyo a la Gerencia Técnica, los investigadores de Cenicafé recorrieron los departamentos de Cauca, Magdalena, Norte de Santander y Cesar, divulgando los conceptos del Programa "Más Agronomía, Más Productividad", capacitando a cerca de 900 caficultores en variedades de café mejoradas para Colombia, densidades, edades y renovación de cafetales, acidez del suelo para el cultivo de café, sanidad

vegetal, sistemas de café con sombrío y manejo de arvenses.

Con el Servicio de Extensión se adelantaron 57 actividades de capacitación de los Extensionistas de todo el país, con 3.658 asistentes. De igual manera, en Cenicafé se realizó el Encuentro de Coordinadores de Extensión con profundización en Manejo de Vertimientos del beneficio de café. En cuanto a la atención de visitantes, entre el 1 de octubre de 2016 y el 30 de septiembre de 2017 se recibieron 126 visitas a las instalaciones de Cenicafé, con 5.186 visitantes, entre los que se encontraron caficultores, compradores de café del exterior, colaboradores de la Federación Nacional de Cafeteros, Entidades Cooperantes y universidades.

Igualmente, Cenicafé adelantó dos días de campo, uno en Huila sobre Cosecha mecanizada, y otro en Risaralda sobre Manejo Integrado de Arvenses, y apoyó la Feria de equipos para la caficultura, en Quindío. Igualmente se tuvo una jornada en Naranjal con caficultores de Risaralda sobre el Variedades mejoradas de café y el riesgo del uso de catimores. Finalmente, el 27 de junio Cenicafé se unió a la celebración nacional de los 90 años de la FNC.

*Álvaro Gaitán B.  
Director Cenicafé  
Noviembre 2017*





**Disciplinas de investigación**





# Disciplinas de investigación

## Agroclimatología



**Soporte al monitoreo del tiempo (meteorología cafetera).** Este proyecto tiene como objetivo garantizar la calidad y dar continuidad a la información histórica climática de la Red Climática Cafetera de la FNC. El soporte se sustenta en mantenimiento de la red climática convencional y automática, la planificación de actualizaciones requeridas para mejorar el desempeño de la captura y la transmisión de datos, continuidad con la evaluación, verificación, digitación de información y control de calidad, para los registros obtenidos con la red meteorológica. La red convencional operó con 49 estaciones principales, 9 heliopluiográficas, 6 pluviográficas y 146 pluviométricas, y la red automática con 146 estaciones.

Durante el presente año se presentaron dos situaciones coyunturales en las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA): La autonomía de la batería y la continuidad en la transmisión de datos. Es recurrente el hecho que la energía que captura el panel y permite la recarga del acumulador no sea suficiente para la operación de captura, almacenamiento y despliegue de información. Esta situación se verificó en el 8% de las estaciones, las cuales presentaron como condición en horas nocturnas, a partir de las 12:00 de la noche y hasta las 7:00 a.m., que no se mostrara información. En un 15% de las EMA, no se transmitió información de manera consistente o ésta fue nula por deficiencia en la señal del módem o por fallas técnicas de éste. Algunas de

las situaciones referidas fueron subsanadas con el cambio de batería, cambio de operador de telefonía y cambio de sistema de comunicación por satelital.

En el marco del proyecto Gestión Inteligente del Agua (GIA), se culminó la fase de implementación de estaciones meteorológicas automáticas (EMA), con la instalación de la estación número 25 en el municipio de Jericó, Antioquia. Se llevó a cabo el seguimiento de los registros meteorológicos con el fin de programar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo y el ajuste de tecnología para garantizar el correcto funcionamiento de los instrumentos de medición. Se desarrolló una plataforma desde la cual puede hacerse seguimiento en tiempo real, a cada una de las estaciones y verificar el

correcto funcionamiento de sus componentes, los tiempos de conexión, transferencia de datos y alarma sobre el estado de carga de la batería.

En el marco del proyecto de Ciencia y Tecnología del Huila- CT&I del Huila, se llevaron a cabo las visitas de mantenimiento preventivo y correctivo en las ocho microestaciones de los transectos La Plata y Pitalito, y en las estaciones de los municipios de Guadalupe, Tarquí, Garzón, Santa María, Colombia, Pitalito, Nátaga y Palestina. Para cada una de las estaciones se realizó la actualización del sistema operativo del datalogger y el cambio de APN en los módems. Además, se definieron los sitios de instalación de dos estaciones meteorológicas automáticas en los municipios de La Argentina y Paicol.

### **Análisis de la influencia sobre la temperatura, del tipo de protector de radiación, en el sensor de temperatura de Estaciones Meteorológicas Automáticas.**

Las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) de la red meteorológica cafetera actualmente comparten sitio con 43 estaciones meteorológicas convencionales (EMC) de la misma red. En el año 2017 se reactivó la investigación, encontrando diferencias significativas entre los datos registrados por ambas estaciones, y entre los diferentes protectores de radiación de los termómetros automáticos.

Se llevó a cabo una observación del dato de temperatura cuando se tienen dos tipos de protectores de radiación, los cuales se diferencian entre sí por el tamaño y número de rejillas de ventilación en la EMA ubicada en Cenicafé -Planalto. El de menor variación fue el protector de mayor tamaño, el cual se comparó con datos de la EMC; los resultados muestran que hay diferencias significativas entre ambos registros, y que la temperatura mínima y media están dentro del rango admitido por la Organización Meteorológica Mundial - OMM ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) (Tabla 1).

En temperatura media, en los sitios en que se comparten EMA y EMC, el 42% de las estaciones evaluadas, los registros de EMA sobreestiman a los obtenidos por EMC. La diferencia absoluta promedio entre los registros de EMA y EMC oscila entre  $0,5$  y  $0,7^{\circ}\text{C}$ , y en la mayoría de las estaciones se cumple el rango admitido por la OMM. En la temperatura mínima, 35 de 41 estaciones presentan diferencias estadísticas significativas entre el dato generado por la EMA y la EMC, aunque 23 de 41 estaciones evaluadas están dentro del rango

admitido por la OMM. La diferencia absoluta entre los registros de temperatura máxima de la EMA con la EMC, osciló entre  $0,7$  y  $2,95^{\circ}\text{C}$ , por lo cual las 41 estaciones evaluadas para esta temperatura están fuera del rango admitido por la OMM.

Lo anterior indica que es necesario hacer correcciones en los registros de temperatura por medio de funciones, o con el uso de ventilación mecánica en cada uno de los alojamientos de la estación automática, o evaluar otros tipos de protector de radiación que suavicen las fluctuaciones de temperatura, con el fin de reducir los errores.

**Tabla 1.** Resultados para la comparación de la temperatura mínima entre estación meteorológica convencional y automática.

Temperatura	Límite inferior	Límite superior
Mínima	0,29	0,47
Máxima	1,64	1,90
Media	0,12	0,37

### **Determinación de la probabilidad de períodos secos y húmedos en la zona cafetera de Colombia.**

En este trabajo se utilizó una metodología para dar una predicción decadiaria de los períodos secos, húmedos y muy húmedos en la zona cafetera del departamento de Caldas, basada en el método estocástico. Las estaciones meteorológicas que fueron analizadas se ubican en una zona orográfica con altitudes que van desde  $1.026$  hasta  $2.088$  m, cubriendo el espectro de elevaciones para el cultivo del café. Se empleó una cadena de Markov de primer orden, para simular la aparición de décadas húmedas, muy húmedas y secas, teniendo en cuenta matrices de transición trimestrales. Se realizó un análisis espacio temporal de la lluvia para encontrar regiones con patrones de lluvia similar, que permitan el uso de los métodos por región y el llenado de datos faltantes.

El modelo presentó buen rendimiento, especialmente en los resultados por década y en la reproducción de estados secos, húmedos y muy húmedos, en las estaciones con precipitaciones anuales por encima de  $1.100$  mm.

Al momento de realizar la validación de lo ocurrido en 2016, los resultados obtenidos en

la Estación Naranjal, utilizando las matrices de transición trimestrales, coinciden con los observados en los meses de enero, febrero, mayo, julio, octubre y noviembre; en La Linda los resultados coinciden con lo observado solamente en los meses de enero y febrero; mientras que en La Pastorita hubo consistencia con lo observado en los meses de abril, junio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

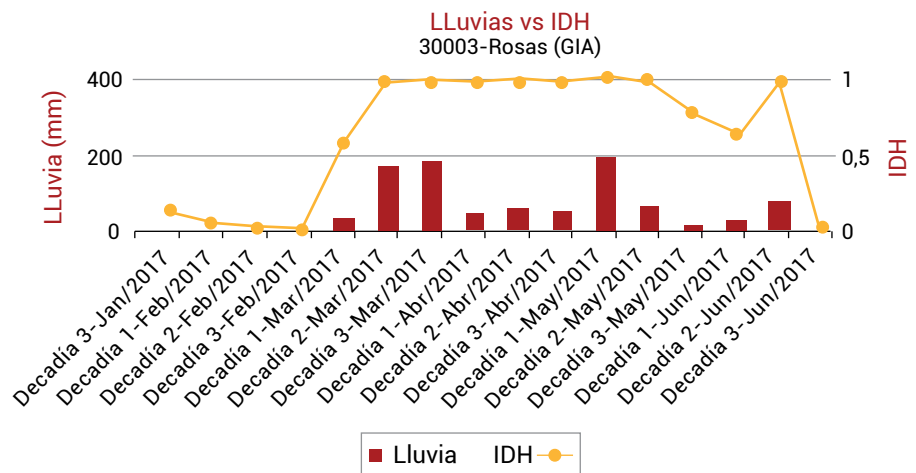
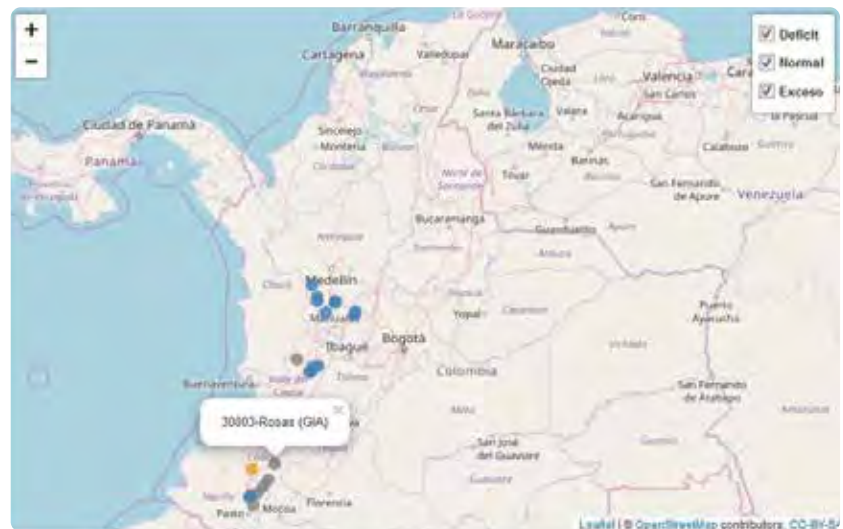
**Ajuste del balance hídrico en cafetales y diseño e implementación de alertas tempranas, relacionadas con déficit y exceso hídricos.**

En el marco del proyecto GIA, para la variable precipitación se generó una metodología para el control de calidad y llenado de datos faltantes a nivel decadiario, con base en la información de Estaciones Meteorológicas Convencionales del IDEAM y de la FNC. Se establecieron relaciones según distancia y diferencia altitudinal entre las estaciones automáticas y convencionales, y se determinaron valores de referencia regionales como valores máximos de precipitación diaria, el número de días con lluvia y el número de días consecutivos sin lluvia a nivel mensual. Se validó la base de datos CHIRPS v2.0 a nivel decadiario y mensual, usando las series históricas de precipitación diaria en el periodo 1981 a 2017 de la FNC. A partir de la comparación entre series de estaciones cercanas se seleccionaron las estaciones cuya información puede ser utilizada para el llenado de datos faltantes. Para el caso de estaciones que no cuentan con estaciones de soporte,

la base de datos CHIRPS v2.0 puede ser empleada como fuente de información, con un rezago de un mes.

Se consolidó la información de capacidad de almacenamiento del agua en el suelo, en 32 sitios, donde están instaladas las EMA en el área de influencia de las microcuencas GIA. Se implementó la rutina de balance hídrico decadiario para las estaciones automáticas de los departamentos de Antioquia, Caldas, Valle del Cauca, Cauca y Nariño, y se obtuvieron los valores de exceso y déficit hídricos, así como el índice de humedad.

Para la estrategia de alertas tempranas para el cultivo de café se definieron los rangos del índice de humedad para los periodos de déficit y exceso, y se estableció un límite de 20 días consecutivos, como el tiempo a partir del cual, la continuidad en la condición de déficit o exceso generan afectación sobre el cultivo de café, según la etapa fenológica en la que se encuentre. Se generó un aplicativo piloto para la generación de alertas tempranas con base en el balance hídrico, para ser incluido en la Plataforma Agroclimática Cafetera (Figura 1).



**Figura 1.** Piloto para la generación de alertas tempranas con base en el balance hídrico decadiario. IDH: Índice de humedad.

**Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de café y su relación con la eficiencia fotosintética.** En el marco del Programa UT Ricclisa se realizaron actividades de medición de flujos de gases efecto invernadero ( $\text{CO}_2$  y vapor de agua) y determinación del balance de energía y agua, en cuatro tipos de sistemas productivos de café estratégicos de la cuenca alta del río Cauca. Lo anterior permitió, en conjunto con la medición de las variables climáticas (temperatura del aire y del suelo, humedad relativa, humedad del suelo, radiación solar neta, radiación solar fotosintéticamente activa y radiación global), obtener relaciones de variables e indicadores de la eficiencia en el uso del agua y la radiación solar, además de funciones que explican el crecimiento de los diferentes sistemas productivos en respuesta al clima.

Los sistemas productivos de café que se evaluaron en la Estación Experimental Paraguaicito de Cenicafé, desde el año 2013, fueron:

1. Maíz intercalado con café (CMaíz).
2. Café a libre exposición solar: Con 7.143 plantas/ha, definido como CSol y, con 10.000 planta/ha, definido como CSol\_1.
3. Café bajo sombrío de guandul (*Cajanus cajan* L), definido como CSombrío.

A través de la eficiencia del uso del agua (EUA) con respecto al almacenamiento de carbono vía fotosintética, puede evaluarse la respuesta del crecimiento de los cultivos ante las condiciones climáticas. Por su parte, la eficiencia del uso de la energía a partir de la radiación solar (EUR) es uno de los parámetros utilizados para predecir la biomasa acumulada. Con los parámetros EUA y EUR se determinaron diferentes niveles de eficiencia en la asimilación de carbono a través de la fotosíntesis, de acuerdo con la oferta hídrica y de radiación solar.

En el sistema CMaíz, en los meses en los cuales el cultivo de maíz se encontraba en el máximo desarrollo vegetativo, la EUA alcanzó un valor promedio de  $5,8 \pm 0,31$  g de C por kg de agua, en el primer ciclo de siembra del maíz (jun-jul/15), y de  $4,43 \pm 0,20$  g de C por kg de agua, en el segundo ciclo (dic/14-ene/16) (Figura 2a); estos valores de EUA se alcanzaron a pesar de que estos meses fueron los más secos del año evaluado (Figura 2b), explicado por la mayor

longitud de raíces del maíz, lo cual le permitió extraer agua de zonas más profundas del suelo.

En el sistema CSol, entre 1,5 y 2,5 años, la EUA estuvo entre  $2,5 \pm 0,06$  g de C por kg de agua (a los 17 meses de edad) y  $4,07 \pm 0,25$  g de C por kg de agua (23 meses de edad). En dos sistemas evaluados, entre 9 y 12 meses edad, se encontró la mayor EUA para CSombrío (entre  $2,75 \pm 0,08$  y  $3,43 \pm 0,13$  g de C por kg de agua), con respecto a CSol\_1 (entre  $2,46 \pm 0,07$  y  $2,93 \pm 0,14$  g de C por kg de agua), atribuido al dosel de la especie forestal asociada al café, la cual interfiere en el paso de la radiación hacia el suelo, de esta manera se redujo la cantidad de agua evaporada y se incrementó la relación transpiración/evaporación lo cual favorece la actividad fotosintética.

El sistema CMaíz tuvo los mayores valores de EUR para jun-jul/14, con valores entre  $1,15 \pm 0,04$  y  $1,22 \pm 0,03$  g.MJ<sup>-1</sup> de C; en ese momento el maíz se encontraba en su máximo desarrollo de área foliar fotosintéticamente activa en el primer ciclo de siembra. En el sistema CSol, los valores de la EUR estuvieron entre  $0,28 \pm 0,01$  y  $0,88 \pm 0,01$  g.MJ<sup>-1</sup> de C, con tendencia de incremento de la EUR con el aumento de la edad del cafetal. En los sistemas CSombrío y CSol\_1, evaluados en el mismo rango de edad, los promedios mensuales de la EUR estuvieron entre  $0,47$  y  $0,59 \pm 0,01$  g.MJ<sup>-1</sup> de C y  $0,67 \pm 0,01$  y  $0,77 \pm 0,01$  g.MJ<sup>-1</sup> de C, respectivamente. De los resultados se infiere que la EUR aumenta con la edad de los ecosistemas (fase de establecimiento) y está limitada por condiciones de disponibilidad de agua en el suelo por debajo del punto de marchitez.

La demanda hídrica potencial de un cultivo o evapotranspiración máxima en una etapa fenológica dada puede conocerse mediante la siguiente expresión:  $ET_c = K_c \cdot ET_o$

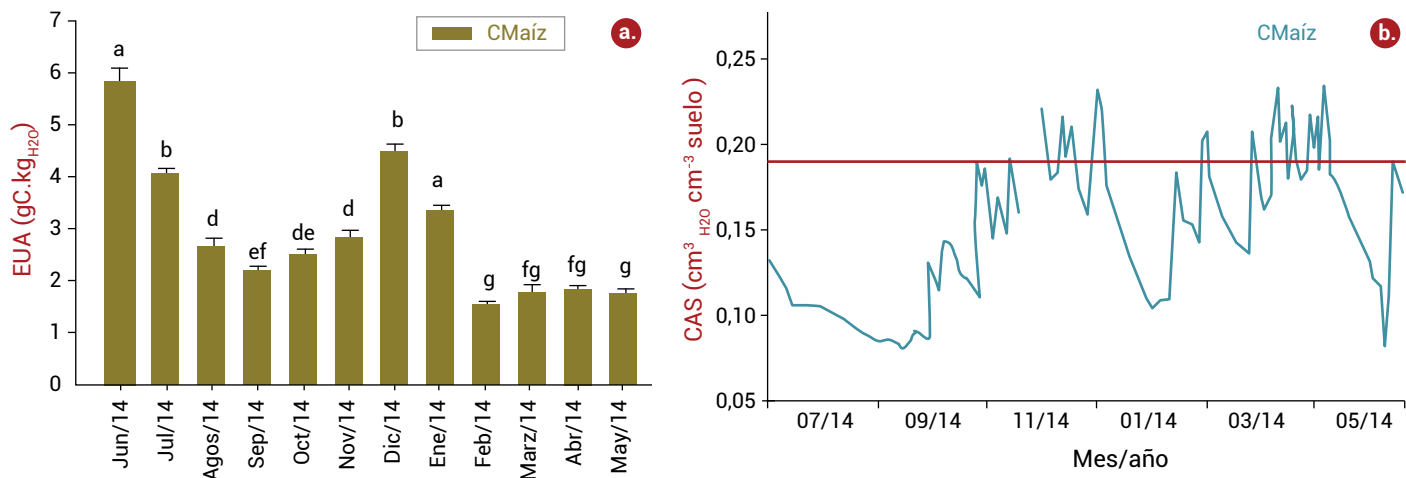
Donde

**ET<sub>c</sub>**, evapotranspiración del cultivo en cierta fase de desarrollo (mm.día<sup>-1</sup>)

**K<sub>c</sub>**, Coeficiente de consumo de agua del cultivo (adimensional).

**ET<sub>o</sub>**, Evapotranspiración de referencia determinada con la fórmula de Penman-Monteith.

Los valores de evapotranspiración de referencia, ET<sub>o</sub>, provenientes de valores



**Figura 2.** a. Eficiencia en el uso del agua (EUA) de un sistema productivo de café asociado con maíz en el primer año de establecimiento del café, b. Contenido de agua en el suelo (CAS), expresado en fracción volumétrica para el periodo de evaluación. La línea roja indica el punto de marchitez permanente del suelo.

diarios medidos por la EMA de la Estación Experimental Paraguaicito, para un cultivo de café en producción, presentaron un promedio entre  $3,59 \pm 0,22 \text{ mm.día}^{-1}$  de agua y  $5,29 \pm 0,29 \text{ mm.día}^{-1}$  de agua. Esta información se utilizará como parámetro para el cálculo de la ETC, el cual fue determinado para la etapa vegetativa y brindará información acerca del requerimiento hídrico del cultivo de café.

### Variabilidad interanual en la cuenca alta del río Cauca – Estudio de caso en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda.

Elaborado en el marco del Programa UT Ricclisa, proyecto "Desarrollando e inter-comparando modelos de predicción de crecimiento y producción de cultivos como herramienta para determinar la vulnerabilidad del sector agrícola frente a la variabilidad y el cambio climático".

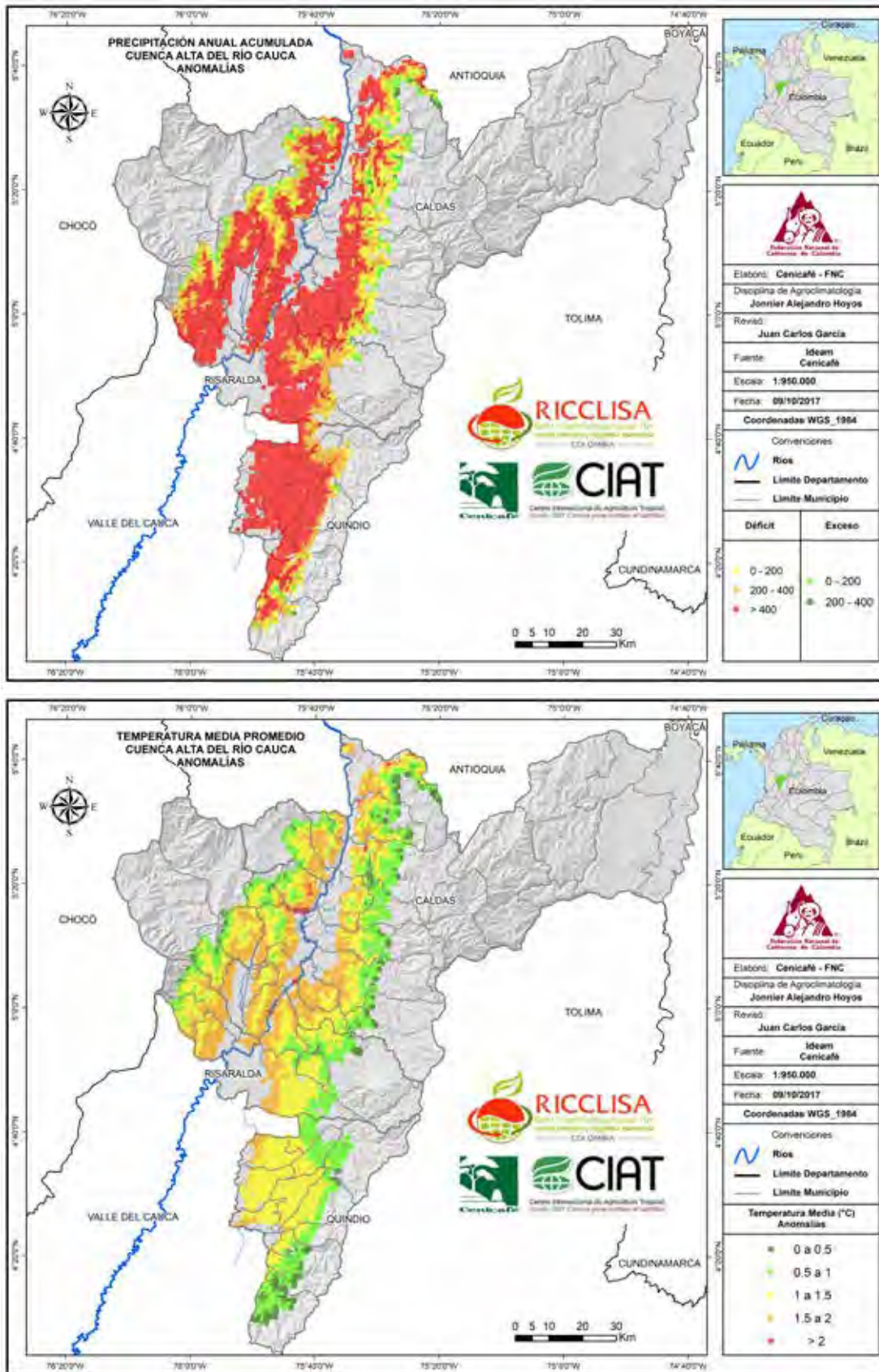
Se consolidaron bases de datos para los años 2012 (Neutro) y 2015 (El

Niño), con temperatura media y precipitación de las estaciones del IDEAM y la FNC, de los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda. Sobre el ráster cafetero de cada departamento, se asignaron las variables obtenidas por procesos de interpolación de la información histórica para los años 2012 y 2015.

Con la temperatura diaria se calcularon los promedios por semestre y anual. A partir de la lluvia se realizó la rutina de balance hídrico diario para cada grilla departamental y se obtuvieron los valores de exceso y déficit hídricos acumulados en milímetros anuales.

Con las variables descritas se calcularon las anomalías por diferencia entre el año 2015 (año El Niño) contra el año 2012, y se construyeron los mapas temáticos para la zona de estudio con el promedio de temperatura anual, los acumulados anuales de lluvia y el número de días con déficit hídrico.

En las condiciones del estudio se presentaron fluctuaciones interanuales sujetas a los eventos relacionados con escenarios ENOS (El Niño, La Niña y Neutro), los cuales repercuten en cambios críticos en la oferta de lluvia y de temperatura, ya que predominaron variaciones de la lluvia en más de 400 mm (Figura 3a) y de la temperatura entre 1 y 2°C (Figura 3b), entre un año normal y otro de El Niño. Las zonas cafeteras de mayor vulnerabilidad corresponden a aquellas donde se presentan las mayores variaciones en la oferta de precipitación y temperatura media, el análisis por rango altitudinal las sitúa por debajo de 1.600 m de altitud. En zonas ubicadas a más de 1.600 m de altitud, las condiciones de cambio en precipitación no son tan limitantes en los departamentos de Risaralda y Caldas, dado que los días con déficit hídrico son inferiores a 60 días, y puede existir un beneficio adicional por incremento en la temperatura, ya que contribuye a los eventos fisiológicos de crecimiento vegetativo y desarrollo reproductivo.



**Figura 3.** Cambios espaciales obtenidos por la diferencia entre los años 2015 y 2012. **a.** Precipitación; **b.** Temperatura media

## Identificación de Zonas Agroecológicas para la caficultura del Huila (CT&I SGR).

El desarrollo metodológico del segundo año de la actividad generó el ajuste sobre la primera versión de la zonificación agroecológica (ZAE). El compendio de actividades para el departamento del Huila incluyó la generación de bases de datos, capas espaciales edáficas, climáticas y orográficas; la Figura 4 integra el diagrama metodológico desarrollado en la actividad.

Se verificaron seis zonas con similaridad de clima, suelo y relieve, en las cuales se identificaron los principales factores de producción del cultivo de café. Las zonas 1, 2 y 3 están ubicadas en el Centro y Norte del departamento, con cosecha de primer semestre, y las zonas 4, 5 y 6 están ubicadas en el Centro-Sur del departamento del Huila con cosecha de segundo semestre. Como condición general, las ZAE 1, 2 y 3 no presentan limitantes en el acumulado anual de precipitación, pero la distribución de la lluvia genera restricciones en el desarrollo del fruto y el déficit hídrico acentuado en la etapa previa a la floración con una ventaja a la zona por concentración de la misma. Para las ZAE 4, 5 y 6, el sistema productivo presenta desventajas en la densidad de siembra inferior a las 6.000 plantas/ha y susceptibilidad a la roya del cafeto, en el 40% de su área. A pesar de la concentración de la floración, la zona presenta limitantes en la acumulación de brillo solar sobre las zonas medias altas (>1.600 m de altitud), inferiores a 1.500 horas anuales, y sobre la zona baja se generan déficits hídricos prolongados en el desarrollo de fruto.

Se identificaron los principales factores agroclimáticos que limitan el potencial agroecológico. El primero corresponde a la distribución de la lluvia, la cual origina periodos de déficit hídrico durante el desarrollo del fruto; el segundo, se encuentra relacionado con la baja oferta de brillo solar, crítica durante las fases de acumulación de biomasa del fruto y, el tercero, acentuado sobre las zonas bajas, relacionado con los excesos térmicos en el sistema productivo. Otro factor limitante al sistema productivo son las altas pendientes del terreno.

Las situaciones mencionadas determinan acciones relacionadas con manejo del café en sistemas agroforestales, siembras con arreglos espaciales al sistema productivo, incremento de la densidad de siembra y uso de variedades resistentes a la roya del cafeto, diseño de barreras vivas y manejo de coberturas, que disminuyan los riesgos a déficit hídrico y erosión.

Con el propósito de validar con el Servicio de Extensión los resultados de la zonificación, se diseñó un instrumento con la información de los elementos meteorológicos y los indicadores bioclimáticos más importantes, los cuales se asociaron a las fincas cafeteras del departamento del Huila.

**Espacialización de los principales elementos meteorológicos en escenarios de variabilidad climática.** Se generaron mapas multianuales de distribución de lluvia y brillo solar acumulado, y promedio de temperatura mínima, máxima y media, en la zona cafetera colombiana, en escenarios ENOS. Participaron

además las Disciplinas de Biometría, Tecnología de Información y Comunicaciones-TIC's y Entomología.

Se consolidaron las series históricas meteorológicas de las estaciones convencionales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, las cuales se depuraron con base en la aplicación de criterios de calidad, definidos *a priori*, soportados en recomendaciones de la OMM y conocimiento experto de la Disciplina de Agroclimatología. Para todos los elementos, las series de información diaria cumplieron con los criterios de temporalidad, con al menos 20 años de información histórica, en las cuales se verificó que existiera, en cada uno de los meses de la serie, el 90% de datos con lluvia, 80% para brillo solar y 70% de los registros de las tres temperaturas. Adicionalmente, se determinó la consistencia de la información con base en los análisis históricos de la Disciplina de Agroclimatología, atribuibles al comportamiento multitemporal y espacial. Después de realizada la depuración se habilitaron para lluvia 1.461 estaciones entre pluviográficas y pluviométricas, 262 estaciones de brillo solar y, para las temperaturas máxima, mínima y media, 293, 317 y 352 estaciones, respectivamente.

Con el fin de realizar el proceso de interpolación, a una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>, se agruparon las series en cinco zonas o cuencas hidrográficas: Atlántica, Pacífica, Cauca, Magdalena y Oriente (Orinoquía y Amazonía). Adicionalmente, se consolidaron los escenarios: promedio



multianual, El Niño y La Niña. Para año promedio multianual, en el elemento lluvia se utilizó el percentil 70 y en las demás variables los promedios; El Niño se ensambló con la serie mayo-diciembre de 1997 y enero-abril de 1998; La Niña correspondió al año 1999.

Los datos por cuenca y escenario se consolidaron con el fin de generar los mapas temáticos por escenario: precipitación y brillo solar acumulados, y promedio de temperatura máxima, mínima y media, ajustadas a los rangos para café.

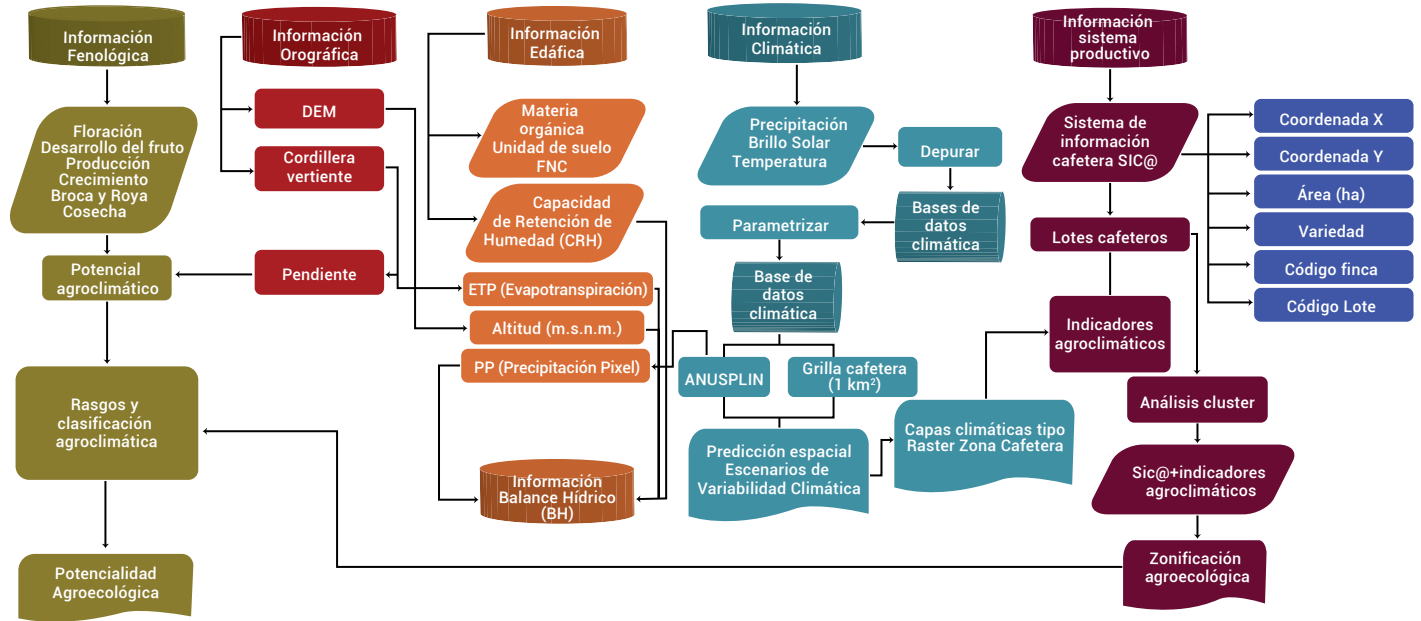


Figura 4. Diagrama Metodología Zonificación Agroecológica.

## Biometría



### Evaluación de ajustes del modelo de broca.

Con el propósito de ajustar el modelo para describir el comportamiento de la infestación por broca, en cuanto a la duración del ciclo de la broca en función de la temperatura, se evaluó la infestación simulada con la

expresión del modelo 1, con respecto a la expresión dada por Giraldo-Jaramillo (Duración =  $156,74 - 5,049 \times \text{temperatura}$ ). La simulación se realizó con las condiciones de 14 sitios, entre cinco y siete niveles de infestación, durante un período Neutro. Las diferencias absolutas de infestación

fluctuaron entre 0% y 1,0% (Tabla 2), con un promedio de 0,96% de diferencia absoluta de infestación y desviación estándar de 0,42.

### Modelación del cultivo del café. Nivel de producción III.

Con el fin de determinar la asociación entre la densidad y temperatura con la producción de café se simuló la producción potencial (nivel I), afectada por déficit hídrico (Nivel II), en 14 sitios, y en cada sitio, cuatro densidades de siembra (2.500, 5.000, 7.500, 10.000). Para cada sitio y densidad, la producción se simuló en sacos de 60 kg de café verde por año, durante cinco años productivos. Con los resultados de la simulación se evaluó la relación lineal simple de la producción con las unidades térmicas acumuladas y la densidad; luego, se evaluó la relación lineal múltiple de la producción con estas variables y su interacción. Para las relaciones lineales simples, la densidad explica la producción anual, entre el 21,3% y 29,8% (coeficientes de determinación) y las unidades térmicas acumuladas explican la variación de la producción entre el 28,9% y el 60,1% (Tabla 3). Para cada año de producción, las relaciones múltiples de la

**Tabla 2.** Diferencia absoluta en porcentaje de infestación simulada, en cada sitio.

Sitios	Diferencia Absoluta	Mínima	Máxima
Blonay	1,0	0,3	1,2
Cenicafé	1,3	1,1	1,4
El Cedral	0,0	0,0	0,0
El Rosario	1,1	0,4	1,3
Francisco Romero	1,3	0,3	2,1
Granja Luker	0,0	0,0	0,0
Jorge Villamil	1,0	0,2	1,3
La Bella	1,1	0,7	1,3
La Catalina	1,1	0,5	1,4
Manuel Mejía	1,0	0,8	1,2
Naranjal	1,2	0,9	1,4
Ospina Pérez	1,0	0,4	1,3
Paraguaicito	1,3	1,2	1,4
Pueblo Bello	1,1	0,4	1,4

producción con la densidad, unidades térmicas acumuladas y la interacción de éstas, indican para el primer y quinto año de producción, interceptos iguales a cero, según la prueba de t al 1%. Los coeficientes de regresión fueron diferentes de cero, según prueba de t al 1%, excepto en el tercer año de producción, para la variable densidad. Los coeficientes de determinación, en la regresión múltiple, fluctuaron entre el 55,7% y el 83,3% (Tabla 3).

**Tabla 3.** Coeficiente de determinación (%) en las relaciones lineal y múltiple, de la producción con la densidad y las unidades térmicas acumuladas (UTA).

Año	Relación lineal simple		Relación lineal múltiple
	Densidad	UTA	
1	27,9	32,7	69,0
2	29,8	50,2	83,3
3	21,3	60,1	81,6
4	23,9	43,6	67,9
5	24,8	28,9	55,7

## Calidad



**Aseguramiento de la calidad del café del Huila como único y diferenciado.** Este proyecto se desarrolla con recursos de Ciencia, Tecnología e Innovación, el Sistema General de Regalías y la Gobernación del Huila. Se realizó el cuarto muestreo de café tipo productor en los municipios del Norte del departamento y se inició la obtención de muestras de los municipios de la zona Sur, con un estimado de 120 muestras.

Se analizaron los resultados de la calidad física y sensorial del café obtenido de 125 fincas del Huila, en 35 municipios, durante las cosechas 2015 y 2016, y en fincas de 16 municipios de la zona Norte del departamento en la cosecha 2017. Se presentaron diferencias significativas al nivel del 5%, según la prueba bilateral Z, entre las muestras de las fincas del Huila, del café producido por el productor y las muestras beneficiadas por Cenicafé, estándar. Las muestras tipo productor presentaron menores valores de humedad del café pergamino, merma, proporción de brocado, proporción de pasilla y factor de rendimiento, y mayores valores de proporción de almendra sana y todas las variables sensoriales de la calidad del café (Tabla 4).

El descriptor de la calidad en taza más frecuente en las muestras del café de las fincas producidas por el productor de café del Huila fue el dulce, mientras que las muestras estándar se calificaron como astringentes en su mayoría y también defecto reposado, lo cual denota que hubo fallas en varias de las etapas de beneficio, secado, almacenamiento y en la manipulación de estas muestras. Por lo tanto, en los muestreos que se están realizando en este proyecto para el monitoreo de la calidad del café del Huila, solamente se obtendrán muestras de café producidas por el caficultor.

Se encontraron diferencias significativas al 5% (Duncan) entre los años de muestreo, para las variables proporción de brocado (mayor en 2016), proporción de pasillas (mayor en 2017) y factor de rendimiento (menor en la cosecha productor 2015). En la Tabla 4 se consolidan los resultados de la calidad física y sensorial de las muestras del Huila de las cosechas 2015 y 2016, así como en el 2017 con la cosecha de Norte del departamento.

Se diseñaron y generaron 125 reportes de la calidad física

y sensorial del café de las fincas Huila, con resultados acumulados por finca, de tres muestreos, y se incluyeron las recomendaciones de mejoras específicas.

En cuanto a los valores estimados de los componentes químicos del café verde, mediante la espectroscopia de infrarojo cercano (NIRS), se encontró que las variables químicas del café almendra, que se estiman de forma más confiable estadísticamente con la técnica NIRS son el contenido de cafeína, trigonelina, lípidos totales y ácidos clorogénicos totales. Los contenidos estimados están dentro de los valores reportados para la composición química del café almendra de la especie Arábica (Tabla 5).

**Caracterización del café verde producido en la región del Paisaje Cultural Cafetero (PCC), Caldas.** Este proyecto se desarrolla con recursos del Sistema General de Regalías, la Gobernación de Caldas y el Fondo de Desarrollo Regional. Los municipios del Paisaje Cultural Cafetero en Caldas son Aguadas, Anserma, Aranzazu, Belalcázar, Chinchiná, Filadelfia, La Merced, Manizales,

**Tabla 4.** Estadística descriptiva para las variables de la calidad física y sensorial de las muestras de café obtenidas en las fincas del Huila, en las cosechas 2015 y 2016, y las muestras de la cosecha del 2017 (Norte del Huila).

Variable	Datos	Datos -sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Humedad pergamino -Estándar	110	110	8,53	14,99	12,55	1,24
Humedad pergamino -Productor	260	260	8,90	16,56	11,41	1,20
Merma -Estándar	110	110	9,26	33,60	21,91	3,25
Merma -Productor	260	260	14,68	23,20	18,08	1,18
%malla18 -Estándar	110	110	0,00	60,55	15,13	13,74
%malla18 -Productor	260	260	5,73	87,83	48,40	14,49
%malla17 -Estándar	110	110	0,30	40,76	21,58	11,25
%malla17 -Productor	260	260	5,68	41,57	27,16	5,88
%malla16 -Estándar	110	110	0,88	40,09	22,99	8,42
%malla16 -Productor	260	260	2,94	30,29	13,36	5,27
%malla15 -Estándar	110	110	3,25	37,25	19,74	8,89
%malla15 -Productor	260	260	0,90	26,24	7,33	3,59
%malla14 -Estándar	110	110	0,52	32,24	11,15	8,79
%malla14 -Productor	260	260	0,23	11,97	2,77	1,84
%malla12 -Estándar	110	110	0,08	61,89	8,75	12,57
%malla12 -Productor	260	260	0,00	7,23	0,87	0,87
Fondo -Estándar	110	110	0,00	14,02	0,54	1,59
Fondo -Productor	260	260	0,00	0,59	0,07	0,08
Brocado% -Estándar	110	110	0,00	27,64	2,58	3,64
Brocado% -Productor	260	260	0,00	31,49	1,68	3,56
Pasilla% -Estándar	110	110	0,00	1,46	0,16	0,27
Pasilla% -Productor	260	260	0,00	9,25	0,76	1,34
Almendra sana% -Estándar	110	110	52,80	87,05	75,99	4,71
Almendra sana% -Productor	260	260	55,88	84,60	79,92	3,22
Factor de rendimiento -Estándar	110	110	80,41	132,58	92,53	6,65
Factor de rendimiento -Productor	260	260	82,74	125,28	87,76	4,30
Fragancia y aroma -Estándar	110	110	3,00	7,00	4,77	0,83
Fragancia y aroma -Productor	260	141	5,00	8,25	7,27	0,88
Acidez -Estándar	110	110	3,00	6,50	4,90	0,64
Acidez -Productor	260	141	3,00	8,17	7,18	0,95

Continúa...

...continuación.

Variable	Datos	Datos -sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Cuerpo -Estándar	110	110	2,50	7,00	4,53	0,81
Cuerpo -Productor	260	141	3,50	8,08	7,10	1,01
Dulzor -Estándar	110	110	3,00	7,50	5,01	0,85
Dulzor -Productor	260	141	3,50	10,00	9,15	1,81
Sabor -Estándar	110	110	3,00	7,00	4,75	0,73
Sabor -Productor	260	141	4,00	8,17	7,23	0,96
Impresión global -Estándar	110	110	2,50	7,00	4,65	0,99
Impresión global -Productor	260	131	3,00	8,25	7,14	1,01

**Tabla 5.** Estadística descriptiva para las variables de las variables químicas estimadas por la técnica NIRS, de las muestras de café del Huila obtenidas en las fincas en las cosechas del 2015 y 2016.

Variable	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Cafeína -Productor	701	0,97	1,58	1,32	0,09
Cafeína -Estándar	330	1,13	1,62	1,40	0,09
Trigonelina -Productor	701	0,70	1,37	0,94	0,09
Trigonelina -Estándar	330	0,86	1,44	1,08	0,10
Lípidos -Productor	701	14,67	21,02	17,42	1,10
Lípidos -Estándar	330	15,06	21,98	18,88	1,34
Ácidos clorogénicos -Productor	701	4,89	6,94	5,89	0,36
Ácidos clorogénicos -Estándar	330	4,89	7,20	6,04	0,41

Neira, Pácora, Palestina, Riosucio, Risaralda, Salamina, San José, Supía y Villamaría.

Entre las actividades de este proyecto se incluyen la caracterización física, sensorial y química de la calidad del café de las fincas participantes y las estrategias de comunicación y capacitación de caficultores sobre el Paisaje Cultural Cafetero y los requisitos para la obtención de la Denominación de Origen.

Para la evaluación de la calidad del café de origen PCC se planificaron seis muestreos y la obtención de 1.560 muestras de café, en 260 fincas. Se obtuvieron dos tipos de muestras: café tipo productor, que fue el café pergamino producido por el caficultor y el café tipo estándar, que fue el café cereza entregado por el caficultor

y beneficiado por Cenicafé. El trabajo de muestreo en el campo se desarrolló en las fincas que fueron seleccionadas con base en la información registrada en el SICA y que están ubicadas en los 17 municipios del Paisaje Cultural Cafetero en Caldas.

El trabajo en el campo se desarrolló desde la cosecha 2015 del segundo semestre hasta la primera cosecha del año 2017. Se realizó el 100% del muestreo y los análisis de laboratorio. El 83,3% de los resultados de calidad física y sensorial se analizaron estadísticamente.

También se diseñaron y generaron 260 reportes, uno por cada finca, consolidados con los resultados acumulados de la calidad física y sensorial del café, los cuales incluyeron recomendaciones técnicas de mejoras en beneficio y procesos,

por cada finca, dependiendo de los defectos y la calidad del café obtenido del productor.

**Caracterización técnica de las fincas.** El área en café de las fincas participantes fue de 4,2 ha en promedio, con mínimo 0,2 ha y máximo de 54,5 ha; el 84% de las fincas son de menos de 5,5 ha y el 46,6% menor a 2,0 ha. El 96,8% de los cultivos están sembrados con variedades resistentes a la roya (58,1% Variedad Castillo®, 38,7% con variedad Colombia), 0,4% con Típica y 2,8% con Caturra.

El 52% de las fincas están ubicadas por encima de 1.600 m de altitud, 38% entre 1.300 y 1.600 m y 10% por debajo de 1.300 m. El 94% de las muestras fueron procesadas por fermentación y 6% por Becolsub. Para la fermentación, la mayoría de las fincas (36,3%) tienen tanque de cemento y 13,3% revestido en mayólica. Para el secado usan frecuentemente la casa helda el 20%, el patio el 15%, el secador parabólico el 13%, silo un 5%, y el 2% no seca el café en la finca.

**Calidad física del café.** Entre las muestras tipo estándar y tipo productor, considerando ambos semestres y años, no se presentaron diferencias significativas para las variables humedad del café pergamino, proporción de almendra sana, ni para el factor de rendimiento. La proporción de pasilla y merma fue significativamente menor en el café tipo estándar. Por el contrario, la proporción de brocado fue significativamente menor en el café tipo productor (Tabla 6).

Según la prueba de diferencia estadística, el café de la cosecha 2016 tanto de la muestra tipo productor como la muestra estándar, presentaron significativamente mayor calidad física del café, con respecto al café de la cosecha 2015. Para el café tipo productor se presentaron diferencias significativas entre años 2015 y 2016, para las variables humedad del café pergamino, merma, brocado, pasilla, proporción de almendra sana y factor de rendimiento. La calidad física del café tipo productor y el café estándar fue significativamente mayor en el café de la cosecha 2016, que en el año 2015 (Tabla 7).

Se encontraron desviaciones de los límites comerciales en la humedad del café (10% al 12%), en todos los municipios. Para las muestras tipo productor, se sobre-secaron el 10,1% y les faltó secado al 12,9% de las muestras. Se encontraron desviaciones de los límites comerciales (1%) en los valores máximos y promedios. En Pácora y Riosucio, en el café tipo productor se encontraron los

menores valores promedio de granos brocados en las muestras. En las muestras de café de Manizales y Aguadas, tipo productor y estándar, se encontraron los mayores valores de pasillas. En las muestras de Supía y Riosucio, tipo productor, se encontró el mayor promedio de almendra sana (Tabla 8).

**Calidad sensorial del café.** No hubo diferencias significativas en el puntaje SCAA de la calidad entre las muestras tipo estándar y productor, ni entre años 2015 y 2016 (Tablas 9 y 10).

Para las muestras tipo productor de las fincas, el puntaje SCAA varió de 43,0 a 87,0 con un promedio de 75,9. El 20,3% de las muestras tipo productor presentó defectos en taza (Tabla 11).

Los promedios por municipio se observan en la Tabla 12. El 94,6% de las muestras en Riosucio y el 91,7% en Risaralda presentaron buena calidad.

Los porcentajes de grano brocado y pasillas tuvieron valores menores en las muestras procedentes de cultivos por encima de 1.600 m, con diferencias significativas a los encontrados en las muestras de altitudes inferiores. El porcentaje de almendra sana fue significativamente diferente entre los rangos de altitud, con un valor superior en las muestras procedentes de cultivos por encima de 1.600 m.

El porcentaje de grano brocado en el café fue significativamente inferior en los municipios de La Merced, Supía, Riosucio y Pácora. Las pasillas fueron inferiores estadísticamente en los municipios de Villamaría, Riosucio, Supía, Risaralda, Anserma y Pácora, y los mayores valores se encontraron en los municipios de San José y Manizales.

El porcentaje de almendra sana fue significativamente menor en Belalcázar y los mayores valores se encontraron en Pácora, Supía y Riosucio, que también presentaron los menores factores de rendimiento. Entre los municipios se presentaron diferencias estadísticas en el puntaje de calidad, los menores puntajes promedio se encontraron en Palestina y San José y los mayores puntajes en Riosucio, Risaralda, Villamaría y Supía.

En el 3,5% de las fincas, de cinco muestreos en el 2015 y 2016, el café producido por el productor presentó calidad en taza igual o superior a 80, límites inferiores a 1% en brocado, pasillas inferiores a 5,5% y valores cercanos a 76% de almendra sana, en las tres cosechas evaluadas y analizadas a la fecha.

**Tabla 6.** Comparaciones entre tipos de muestra productor y estándar de las variables de la calidad física del café. Prueba Z bilateral, nivel de significancia alfa 5%.

Variable	Unidad	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Humedad pergamino -Estándar	%	519	7,8	13,4	10,8	0,9	-0,10	(-0,20; 0,02)	0,055	No	No
Humedad pergamino -Productor		762	8,2	14,7	10,9	0,9					
Merma -Estándar	%	519	15,4	33,9	18,1	1,7	-0,28	(-0,46; -0,09)	0,003	Si	Estándar
Merma -Productor		762	15,4	27,5	18,3	1,5					
Brocado% -Estándar	%	519	0,00	61,10	5,60	7,43	0,85	(0,09; 1,56)	0,027	Si	Productor
Brocado% -Productor		762	0,00	44,60	4,75	5,51					
Pasilla% -Estándar	%	519	0,24	56,50	5,17	5,23	-0,96	(-1,69; -0,22)	0,011	Si	Estándar
Pasilla% -Productor		762	0,04	93,60	6,12	8,14					
Almendra sana% -Estándar	%	519	21,90	83,16	74,04	8,78	0,52	(-0,46; 1,50)	0,303	No	No
Almendra sana% -Productor		762	10,00	83,80	73,52	8,9					
Factor de rendimiento -Estándar	valor	519	84,18	308,10	96,06	19,00	-0,99	(-3,45; 1,46)	0,427	No	No
Factor de rendimiento -Productor		762	75,89	579,47	97,05	25,74					



**Tabla 7.** Comparaciones entre años 2015 y 2016, segundo semestre de las variables de la calidad física del café tipo productor. Prueba Z bilateral, nivel de significancia alfa 5%.

Variable	Unidad	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Humedad pergamino – Productor 2015II	%	260	8,20	14,70	10,68	0,99	-0,36	(-0,53;-0,20)	< 0,0001	Si	2015
Humedad pergamino – Productor 2016II		252	8,70	14,00	11,05	0,95					
Merma –Productor 2015II	%	260	15,40	21,80	18,00	1,15	0,36	(0,18; 0,54)	0,000	Si	2016
Merma –Productor 2016II		252	15,40	20,50	17,64	0,94					
Brocado% –Productor 2015II	%	260	0,00	24,90	4,72	4,58	2,94	(2,34; 3,54)	< 0,0001	Si	2016
Brocado% –Productor 2016II		252	0,00	11,40	1,78	1,78					
pasilla% –Productor 2015II	%	260	0,20	93,60	6,76	7,67	3,78	(2,81; 4,74)	< 0,0001	Si	2016
Pasilla% –Productor 2016II		252	0,20	11,60	2,98	2,09					
Almendra sana-Productor 2015II	%	260	10,00	82,80	73,67	7,79	-4,35	(-5,39; -3,31)	< 0,0001	Si	2016
Almendra sana-Productor 2016II		252	63,0	83,20	78,02	3,49					
Factor de rendimiento – Productor 2015II	Valor	260	84,13	579,47	96,56	31,67	6,65	(2,76; 10,53)	0,001	Si	2016
Factor de rendimiento – Productor 2016II		252	84,18	111,18	89,92	4,36					

**Tabla 8.** Estadística descriptiva de la proporción de pasillas, brocado, almendra sana y factor de rendimiento en café tipo productor.

Característica	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
<b>Brocado %</b>	<b>762</b>	<b>0,00</b>	<b>44,60</b>	<b>4,75</b>	<b>0,20</b>	<b>4,36</b>	<b>5,15</b>
Aguadas	69	0,00	26,70	4,63	0,66	3,32	5,95
Anserma	60	0,00	26,40	4,69	0,79	3,11	6,26
Aranzazu	33	0,00	17,30	4,07	0,75	2,54	5,60
Belalcázar	38	0,10	23,00	7,76	0,98	5,78	9,74
Chinchiná	66	0,30	24,50	6,35	0,73	4,89	7,80
Filadelfia	31	0,40	20,80	4,81	0,91	2,95	6,67
La Merced	12	0,00	4,80	0,94	0,42	0,02	1,86
Manizales	75	0,00	32,30	6,83	0,87	5,10	8,56
Neira	57	0,00	44,60	6,24	1,01	4,23	8,26
Palestina	48	0,30	14,90	4,36	0,56	3,22	5,49
Pácora	57	0,00	13,60	2,44	0,38	1,67	3,21
Riosucio	37	0,00	11,50	2,24	0,44	1,35	3,13
Risaralda	36	0,10	16,90	4,09	0,67	2,73	5,45
Salamina	33	0,00	15,40	3,01	0,67	1,65	4,38
San José	30	0,40	19,90	5,89	0,88	4,10	7,68
Supía	36	0,00	6,50	2,05	0,27	1,50	2,60
Villamaría	44	0,40	22,50	4,94	0,76	3,40	6,47
<b>Pasilla %</b>	<b>762</b>	<b>0,20</b>	<b>93,60</b>	<b>6,13</b>	<b>0,29</b>	<b>5,55</b>	<b>6,71</b>
Aguadas	69	0,50	93,60	6,73	1,73	3,28	10,17
Anserma	60	0,20	28,70	4,61	0,74	3,13	6,09
Aranzazu	33	0,50	18,70	5,27	0,84	3,57	6,97
Belalcázar	38	1,63	31,30	7,31	1,01	5,27	9,35
Chinchiná	66	0,50	21,00	5,84	0,51	4,83	6,86
Filadelfia	31	1,60	36,70	6,82	1,23	4,31	9,33
La Merced	12	0,20	24,60	5,78	1,94	1,51	10,04
Manizales	75	0,20	91,90	8,50	1,62	5,27	11,73
Neira	57	0,80	36,90	7,56	0,96	5,64	9,49
Palestina	48	0,60	25,30	7,43	0,98	5,46	9,41

Continúa...

...continuación.

Característica	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
<b>Pasilla %</b>	<b>762</b>	<b>0,20</b>	<b>93,60</b>	<b>6,13</b>	<b>0,29</b>	<b>5,55</b>	<b>6,71</b>
Pácora	57	0,30	35,70	4,94	0,73	3,47	6,42
Riosucio	37	0,30	21,20	3,86	0,71	2,41	5,30
Risaralda	36	1,10	12,20	4,51	0,43	3,64	5,39
Salamina	33	0,83	17,10	6,12	0,87	4,35	7,89
San José	30	0,70	40,00	9,45	1,98	5,39	13,50
Supía	36	0,60	13,50	4,02	0,54	2,92	5,12
Villamaría	44	0,50	13,00	3,81	0,41	2,98	4,64
<b>Almendra sana %</b>	<b>762</b>	<b>10,00</b>	<b>83,80</b>	<b>73,52</b>	<b>0,32</b>	<b>72,88</b>	<b>74,15</b>
Aguadas	69	10,00	81,70	73,15	1,46	70,24	76,06
Anserma	60	41,40	83,60	74,89	1,13	72,62	77,16
Aranzazu	33	52,20	83,80	74,76	1,19	72,33	77,19
Belalcázar	38	45,10	81,40	69,30	1,38	66,50	72,11
Chinchiná	66	52,10	82,50	72,23	0,85	70,53	73,93
Filadelfia	31	41,70	80,70	73,00	1,45	70,03	75,96
La Merced	12	59,20	82,20	76,20	1,82	72,20	80,20
Manizales	75	25,40	82,90	71,01	1,46	68,10	73,92
Neira	57	29,80	82,50	71,17	1,30	68,56	73,78
Palestina	48	37,00	81,00	71,86	1,29	69,26	74,46
Pácora	57	49,20	83,20	76,79	0,76	75,27	78,32
Riosucio	37	62,90	82,10	77,98	0,73	76,51	79,45
Risaralda	36	63,20	81,80	75,40	0,72	73,94	76,86
Salamina	33	58,80	80,72	74,31	1,15	71,97	76,66
San José	30	42,70	81,70	69,26	2,15	64,87	73,65
Supía	36	65,30	81,80	77,73	0,59	76,53	78,93
Villamaría	44	59,80	82,30	74,94	0,83	73,26	76,62
<b>Factor de rendimiento</b>	<b>762</b>	<b>75,89</b>	<b>579,47</b>	<b>97,05</b>	<b>0,93</b>	<b>95,22</b>	<b>98,88</b>
Aguadas	69	85,45	579,47	104,84	8,23	88,42	121,26
Anserma	60	83,33	165,56	94,54	1,90	90,73	98,35
Aranzazu	33	76,55	131,68	93,74	1,75	90,18	97,29

Continúa...

...continuación.

Característica	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
<b>Factor de rendimiento</b>	<b>762</b>	<b>75,89</b>	<b>579,47</b>	<b>97,05</b>	<b>0,93</b>	<b>95,22</b>	<b>98,88</b>
Belalcázar	38	86,04	152,84	101,78	2,29	97,14	106,41
Chinchiná	66	84,38	131,88	97,09	1,21	94,68	99,50
Filadelfia	31	75,89	163,55	96,17	2,69	90,67	101,66
La Merced	12	85,20	116,51	92,32	2,46	86,90	97,73
Manizales	75	84,46	263,55	102,63	3,42	95,80	109,45
Neira	57	84,87	227,57	100,44	2,96	94,52	106,36
Palestina	48	85,53	184,79	98,75	2,44	93,83	103,66
Pácora	57	84,01	139,66	91,28	1,09	89,09	93,47
Riosucio	37	84,13	111,25	89,67	0,93	87,79	91,56
Risaralda	36	85,62	108,90	92,55	0,86	90,80	94,30
Salamina	33	86,72	117,61	94,57	1,54	91,42	97,72
San José	30	85,66	161,44	103,76	3,97	95,64	111,87
Supía	36	85,53	106,58	89,91	0,71	88,46	91,36
Villamaría	44	85,03	115,36	93,29	1,08	91,11	95,47

**Tabla 9.** Comparaciones entre tipo de muestras estándar y productor semestre de las variables de la calidad sensorial. Prueba Z bilateral, nivel de significancia alfa 5%.

Variable	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Fragancia y aroma - Estándar	519	6,00	8,50	7,37	0,57	0,161	(0,099; 0,223)	< 0,0001	Si	Estándar
Fragancia y aroma - Productor	753	6,00	8,50	7,21	0,54					
Acidez - Estándar	519	6,00	8,25	7,18	0,66	0,053	(-0,019; 0,124)	0,149	No	No
Acidez - Productor	753	6,00	8,50	7,13	0,62					
Cuerpo - Estándar	519	6,00	8,00	7,33	0,40	0,122	(0,075; 0,169)	< 0,0001	Si	Estándar
Cuerpo - Productor	753	6,00	8,00	7,21	0,45					

Continúa...

...continuación.

Variable	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Sabor -Estándar	519	6,00	8,25	7,18	0,65	0,079	(0,008; 0,15)	0,029	Si	Estándar
Sabor - Productor	753	6,00	8,50	7,10	0,60					
Puntaje catador - Estándar	519	6,00	8,50	7,11	0,64	0,057	(-0,012; 0,126)	0,104	No	No
Puntaje catador - Productor	753	6,00	8,00	7,05	0,59					
Puntaje solo para SCAA - Estándar	519	48,25	87,50	76,37	11,59	0,496	(-0,794; 1,787)	0,451	No	No
Puntaje solo para SCAA - Productor	753	43,00	87,00	75,87	11,46					

**Tabla 10.** Comparaciones entre años 2015 y 2016, segundo semestre de las variables de la calidad sensorial del café tipo productor. Prueba Z bilateral, nivel de significancia alfa 5%.

Variable	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Fragancia y aroma 2015 II	260	6,00	8,00	7,21	0,58	0,062	(-0,37; 0,161)	0,218	No	No
Fragancia y aroma 2016 II	243	6,00	8,00	7,15	0,55					
Acidez - 2015 II	260	6,00	8,00	7,14	0,61	-0,04	(-0,105; 0,098)	0,941	No	No
Acidez - 2016 II	243	6,00	8,00	7,15	0,56					
Cuerpo - 2015 II	260	6,00	8,00	7,25	0,36	-0,083	(-0,136; -0,031)	0,002	Si	2016
Cuerpo - 2016 II	243	6,00	7,75	7,33	0,23					
Sabor - 2015 II	260	6,00	8,00	7,13	0,59	0,012	(-0,087; 0,11)	0,816	No	No
Sabor -2016 II	243	6,00	8,00	7,12	0,54					

Continúa...

...continuación.

Variable	Datos	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar	Diferencia	Intervalo de confianza al 95%, para la diferencia entre las medias	Valor P	Significancia	Mayor calidad
Puntaje catador 2015 II	260	6,00	8,00	7,05	0,58	-0,017	(-0,11; 0,08)	0,738	No	No
Puntaje catador 2016 II	243	6,00	8,00	7,06	0,54					
Puntaje solo para SCAA - 2015 II	260	43,00	86,00	76,28	11,16	-0,338	(-2,24; 1,56)	0,727	No	No
Puntaje solo para SCAA - 2016 II	243	53,00	85,00	76,62	10,57					

**Tabla 11.** Proporción de defectos en taza del café tipo productor de fincas, de los municipios del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas, cosechas 2015 y 2016.

Municipio	Inmaduro	Reposo	Terroso	Vinagre	Acre	Fenol	Humedad mayor a 13%	Sin defecto	Con defecto
Aguadas	2,9	2,9	2,9	5,8	0,0	0,0	2,9	82,6	17,4
Anserma	5,0	0,0	6,7	5,0	0,0	0,0	1,7	81,7	18,3
Aranzazu	6,1	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	87,9	12,1
Belalcázar	13,2	5,3	7,9	2,6	0,0	0,0	2,6	68,4	31,6
Chinchiná	12,1	3,0	9,1	6,1	0,0	0,0	1,5	68,2	31,8
Filadelfia	9,7	3,2	6,5	6,5	0,0	0,0	0,0	74,2	25,8
La Merced	8,3	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	83,3	16,7
Manizales	6,7	1,3	5,3	5,3	1,3	0,0	1,3	78,7	21,3
Neira	0,0	3,5	1,8	5,3	1,8	0,0	1,8	86,0	14,0
Pácora	5,3	0,0	7,0	1,8	0,0	0,0	1,8	84,2	15,8
Palestina	8,3	6,3	16,7	8,3	0,0	2,1	0,0	58,3	41,7
Riosucio	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	94,6	5,4
Risaralda	0,0	0,0	5,6	2,8	0,0	0,0	0,0	91,7	8,3
Salamina	6,1	0,0	12,1	6,1	0,0	0,0	3,0	72,7	27,3
San José	0,0	10,0	3,3	23,3	0,0	0,0	0,0	63,3	36,7
Supía	2,8	5,6	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	88,9	11,1
Villamaría	0,0	2,3	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	93,2	6,8
Promedio -17 municipios	5,1	2,5	6,0	5,1	0,3	0,1	1,2	79,7	20,3

**Tabla 12.** Estadística descriptiva para las variables fragancia y aroma y puntaje SCAA de la calidad sensorial del café tipo productor, municipios PCC.

Variable	Número de datos	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
Fragancia y aroma								
Promedio 17 municipios	762	6	8,5	7,25	7,21	0,02	7,17	7,25
Aguadas	69	6	8,5	7,25	7,24	0,07	7,10	7,37
Anserma	60	6	8	7,25	7,19	0,07	7,06	7,32
Aranzazu	33	6	8	7,5	7,30	0,09	7,12	7,48
Belalcázar	38	6	8	7,25	6,96	0,10	6,76	7,16
Chinchiná	66	6	7,75	7,25	7,03	0,08	6,87	7,19
Filadelfia	31	6	8	7,5	7,28	0,09	7,11	7,46
La Merced	12	6	7,75	7,25	7,25	0,13	6,97	7,53
Manizales	75	6	8	7,25	7,16	0,07	7,03	7,29
Neira	57	6	8	7,25	7,25	0,06	7,12	7,38
Palestina	48	6	7,75	7,25	6,99	0,09	6,81	7,17
Pácora	57	6	8	7,5	7,33	0,07	7,20	7,46
Riosucio	37	6	8	7,5	7,40	0,06	7,29	7,51
Risaralda	36	6	7,75	7,5	7,33	0,06	7,20	7,45
Salamina	33	6	8	7,375	7,25	0,09	7,06	7,44
San José	30	6	8	7,25	7,08	0,13	6,82	7,35
Supía	36	6	8	7,5	7,36	0,08	7,20	7,52
Villamaría	44	6	8	7,5	7,35	0,07	7,22	7,48

Continúa...

...continuación.

Variable	Número de datos	Mínimo	Máximo	Mediana	Media	Error estándar de la media	Límite inferior de la media (95%)	Límite superior de la media (95%)
<b>Puntaje SCAA</b>								
Promedio 17 municipios	762	43	87	80,5	75,87	0,42	75,05	76,69
Aguadas	69	53	86	81	77,31	1,27	74,77	79,85
Anserma	60	43	85	80,5	76,20	1,53	73,15	79,26
Aranzazu	33	43	84,5	81	77,86	1,84	74,11	81,61
Belalcázar	38	52	84,25	80	72,45	2,15	68,09	76,81
Chinchiná	66	52	84,25	80,25	72,47	1,65	69,17	75,76
Filadelfia	31	53	84,5	81	74,42	2,29	69,73	79,10
La Merced	12	53	83,5	80,625	76,92	3,23	69,81	84,03
Manizales	75	52	85	80,5	75,66	1,36	72,96	78,37
Neira	57	52	84	80,625	77,71	1,28	75,14	80,29
Palestina	48	52	84	80	69,61	2,00	65,58	73,64
Pácora	57	52	87	80,625	77,50	1,38	74,74	80,26
Riosucio	37	52	84,5	81	80,22	1,11	77,97	82,46
Risaralda	36	53	84,5	81	78,94	1,33	76,23	81,65
Salamina	33	52	84,5	80,75	74,43	2,23	69,88	78,98
San José	30	52	85	80	71,10	2,60	65,77	76,43
Supía	36	52	85,25	81,5	78,78	1,57	75,59	81,97
Villamaría	44	52	84,75	80,5	78,90	1,12	76,64	81,15



---

## Economía

---



### Análisis económico a nivel de finca

**Evaluación social y económica del Programa GIA método SROI.** Se dio continuidad al desarrollo del plan de análisis de impacto del Programa Gestión Inteligente del Agua –GIA, bajo la metodología Retorno Social de la Inversión – SROI. El plan de trabajo de SROI se centró en el desarrollo de las etapas intermedias, con la definición en la limitación del alcance, identificación de las partes interesadas y la determinación de cómo involucrar a esos grupos de interés. El alcance se definió como un estudio exploratorio para la microcuenca de Aguadas (Caldas), en el cual se consideran como las principales partes interesadas a los caficultores beneficiados por al menos uno de los seis planes de trabajo de GIA, con incidencia a nivel de finca-productor:

1. Análisis económico a nivel de finca
2. Beneficio ecológico

3. Bioingeniería
4. Reforestación
5. Renovación de cafetales
6. Tratamiento de aguas residuales

El avance principal para la medición de SROI, se inició con la estructuración y validación en el campo de las encuestas que permitieron capturar los datos e información relevante y de interés para las partes interesadas.

En este proceso se desarrollaron los indicadores de cambio. En su mayoría, los indicadores para evaluar el Programa GIA bajo la metodología SROI, se fundamentan en los indicadores de calidad global del agua establecidos y medidos por GIA.

## Entomología



**G**eneración de mapas de vulnerabilidad para el daño causado por la broca del café. Se determinaron los parámetros de la tabla de vida y la fertilidad de la broca del café, a ocho temperaturas en el laboratorio. Este insecto se desarrolló en la franja térmica de 15 a 32°C. La menor duración y mayor viabilidad del ciclo de la broca se presentaron entre 25 a 28°C; igualmente, la mayor tasa neta de reproducción ( $R_0$ ) se presentó a los 25°C, calculándose que la población aumenta 127,8 veces en cada generación, a una razón finita de aumento ( $\lambda$ ) de 1,09 cada día. El desarrollo y la reproducción de la broca comienzan a disminuir a los 28°C, es decir, las altas temperaturas también la afectan. Se calculó que la broca tiene una temperatura base ( $T_0$ ) de 13,9°C a partir de la cual inicia su desarrollo, con una constante térmica ( $K$ ) de 300 Grados Día de huevo hasta adulto. Con esta información, se calculó el número de generaciones de este insecto y se generaron mapas de vulnerabilidad.

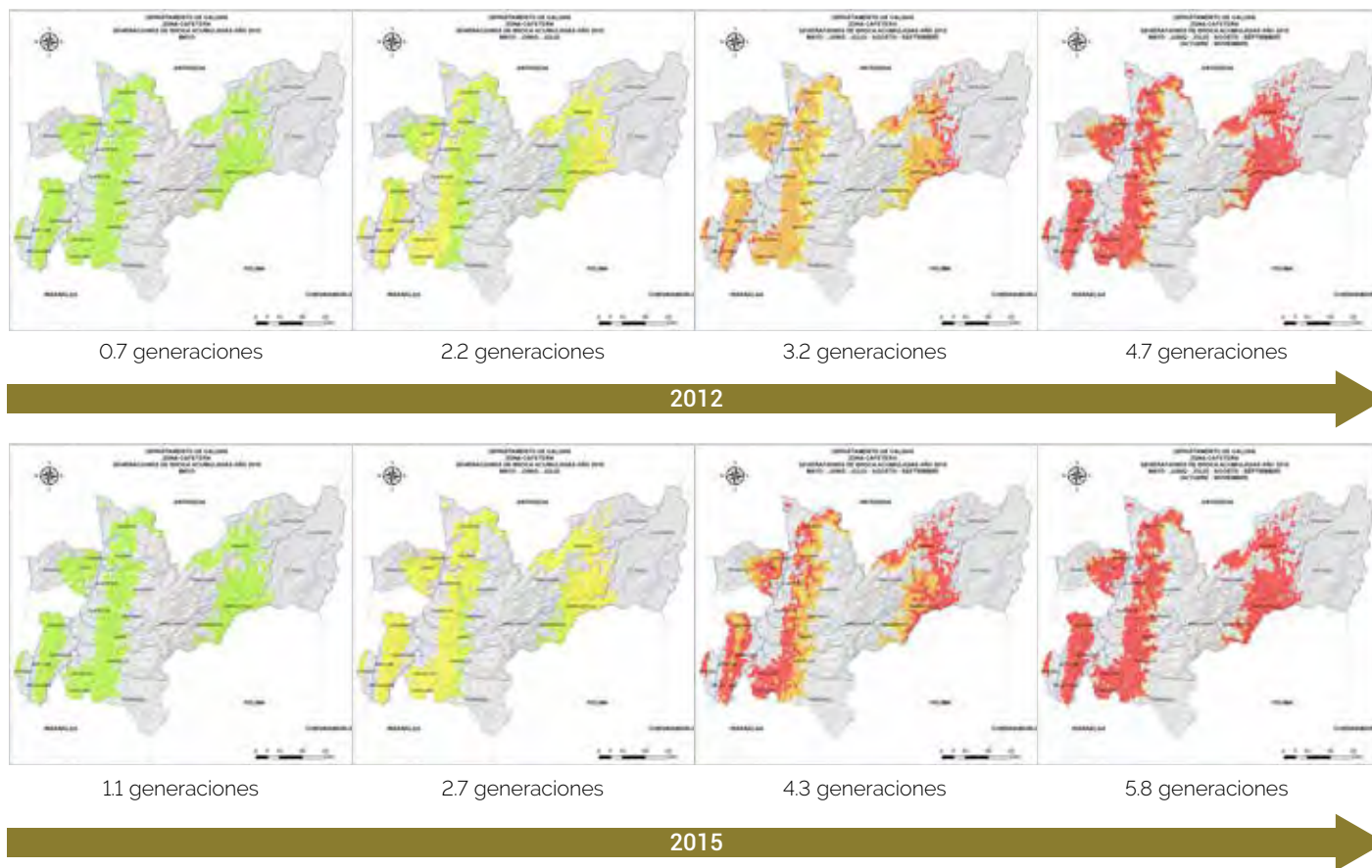
Para generar estos mapas de vulnerabilidad a la broca del café en Colombia, se relacionaron las condiciones de clima para el departamento

de Caldas, con el número de generaciones de la broca. Con fines de comparación, se consideraron los años 2012 y 2015, cuando ocurrieron los eventos climáticos Neutro y El Niño, respectivamente. La información del clima en estos dos años, mostró una diferencia de 1,51°C entre el 2012 y el 2015, es decir, a pesar que las temperaturas de los dos años fueron propicias para el desarrollo de broca del café, el 2015 fue más favorable. Para cada mes, se calculó el período crítico para el ataque de la broca durante el ciclo productivo de la cosecha principal del departamento de Caldas (mayo a noviembre), el número potencial de generaciones por finca (de acuerdo a la georreferenciación del SICA), el cual fue acumulado a través del tiempo, con el fin de visualizar la vulnerabilidad por municipios (Figura 5). Los mapas corroboran que deben esperarse menos generaciones de broca al año durante los eventos Neutro y La Niña, con respecto a El Niño. Esta es una primera aproximación al uso de esta herramienta para la elaboración de mapas de vulnerabilidad a plagas del café en Colombia. Se ajustarán los modelos con el fin de detallar

las diferencias altitudinales para cada departamento.

### **Caracterizar el riesgo por plagas del cultivo del café en un gradiente altitudinal.**

Con el objetivo de entender el comportamiento y cuantificar el impacto de las plagas del cultivo de café frente a diferentes escenarios climáticos y altitudinales, se evaluó la dinámica poblacional de algunas plagas, en cinco localidades, en un gradiente altitudinal entre 1.132 y 1.822 m en la cuenca del río Risaralda (Caldas), ubicada en la vertiente Este de la cordillera Occidental. Con una periodicidad mensual, durante tres años y medio, se evaluaron los niveles de infestación de broca del café *Hypothenemus hampei*, así como la densidad poblacional, en cada rango altitudinal, relacionado con las variables de clima obtenidas de las estaciones meteorológicas automatizadas, ubicadas en las parcelas de cada localidad. Durante el estudio se presentó un evento climático El Niño intenso, entre los meses de marzo de 2015 y marzo de 2016, el cual permitió cuantificar y medir el potencial biótico de la broca del café, por rango altitudinal. El análisis de los

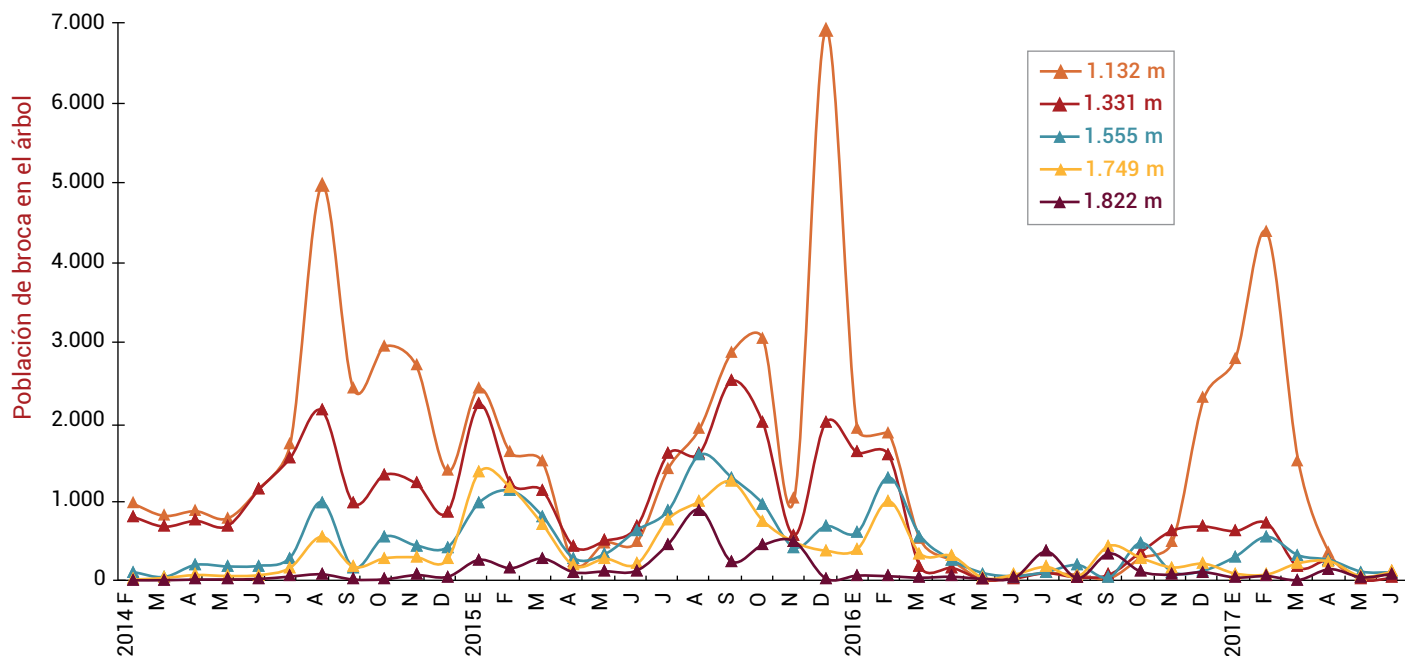


**Figura 5.** Número potencial de generaciones de *Hypothenemus hampei* en el departamento de Caldas, año 2012 (tipo Neutro) y año 2015 (tipo El Niño), desde mayo a noviembre.

registros meteorológicos indica un incremento de 3°C en la temperatura media, por encima del promedio histórico de los últimos tres años, intensificado en los meses de diciembre de 2015 hasta marzo de 2016 a raíz del severo efecto sobre las lluvias, la temperatura del aire y la radiación solar que produjo el fenómeno de El Niño, el cual tuvo un efecto negativo en la calidad del grano del café con altos porcentajes de infestación de broca y defectos asociados a daños por grano averanado y su consecuente impacto económico en la cosecha principal del año 2015 y la travesía del 2016. Estas condiciones de sequía durante cuatro meses continuos favorecieron el desarrollo y reproducción de la broca del café *H. hampei*, alcanzando densidades poblacionales de hasta 6.912 individuos por árbol (Figura 6), con niveles de infestación que alcanzaron un máximo de 81% en enero 2016, en la localidad ubicada a 1.132 m de altitud.

Los vuelos de broca monitoreados a través de trampas cebadas con alcohol registraron

capturas masivas sin precedentes, de hasta 529.000 y 337.500 adultos en solo 20 trampas en el mes de octubre de 2015 y otro pico en el mes de enero de 2016, en las localidades a 1.132 m y 1.331 m, respectivamente. El incremento poblacional de la broca del café por rango altitudinal estuvo relacionado con el déficit hídrico y el incremento de la temperatura media (> 2°C) en los lotes de café evaluados a través del tiempo. Precipitaciones mensuales, menores a 100 mm, durante mínimo dos meses continuos, incrementaron las poblaciones de broca. Adicionalmente, se registró y cuantificó una epizootia natural, causada por el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*, sobre las poblaciones de la broca del café en todas las localidades del estudio, con niveles de mortalidad superiores al 95%, a partir del mes de abril de 2016. La epizootia ocurrió dados los altos niveles de broca, a las temperaturas entre 18 y 23°C, precipitaciones mensuales acumuladas superiores a 165 mm, con humedad relativa superior al 75%, favorecidas por efecto de la llegada de las lluvias.



**Figura 6.** Densidad poblacional de la broca del café por rango altitudinal a través del tiempo.

### Ensamble del genoma de la broca del café e identificación de genes de interés para su control.

Se obtuvo un nuevo ensamble mejorado del genoma de la broca del café, generado mediante secuenciación FLX-454 y la adición de nuevas secuencias Illumina. La versión híbrida mejoró la contigüidad de las secuencias (N50: 383Kb, L50: 76), compuestas por 8.142 peldaños, que representan el 96% del genoma total, de un tamaño de 163 Mb. Se ensamblaron 30.000 transcritos y se predijeron regiones codificantes que permiten identificar cerca de 20.000 mil genes modelos, relacionados con procesos de búsqueda de la planta de café, como proteínas de unión a olores y receptores de olor y gusto. Adicionalmente, se anotaron cerca de 81 genes para receptores GPCRs, los cuales son potenciales blancos de nuevos insecticidas. Los análisis adicionales han permitido identificar secuencias genómicas únicas de machos que están posiblemente asociadas a la determinación sexual en broca.

### Evaluación de equipos y tecnologías de aspersión en el control de plagas en el cultivo del café.

Con el fin de contar con nuevas tecnologías de aspersión que permitan una calidad física superior a la de los equipos actualmente utilizados, menor consumo de agua y mayor rendimiento en mano de obra, se evaluó un dron agrícola (Figura 7) y dos equipos motorizados de espalda: eléctrico y neumático.

Con el dron, una vez ajustadas las boquillas, la velocidad de vuelo y la presión de descarga, se obtuvieron entre 61 y 143 gotas/cm<sup>2</sup> de 229 a 301  $\mu$ m, un consumo de agua de 14,2 L.ha<sup>-1</sup> y un tiempo de aspersión de 16 min. Con los equipos eléctrico (con un aguilón de dos boquillas TX1) y neumático, se obtuvieron los siguientes resultados: rendimiento de 17,3 y 6,8 h.ha<sup>-1</sup>, es decir, reducción en mano de obra de 13,8% y 66,1%, respectivamente; un consumo de agua por hectárea de 168 y 53 L, para una reducción del consumo de 39,6% y 80,8%, respectivamente; un



**Figura 7.** Dron de uso agrícola en la aspersión de pesticidas.

tamaño de gota de 301 y 434  $\mu\text{m}$ , respectivamente, el cual no presenta diferencias con los equipos convencionales; finalmente, el cubrimiento fue de 223 y 47 gotas/ $\text{cm}^2$ , respectivamente, lo cual indica que el equipo eléctrico ofrece calidades físicas comparables con los equipos convencionales, mientras que el neumático debe ser mejorado para este parámetro. Se procederá con las pruebas biológicas de los equipos con el fin de avanzar en nuevos sistemas de aspersión para la caficultura colombiana.

### Determinación de la capacidad embriogénica y generación *in vitro* de plantas de materiales híbridos, productos de los cruzamientos de líneas *C. arabica* Variedad Castillo® x líneas de *C. arabica* Etiopes.

Materiales híbridos, producto de los cruzamientos de tres líneas *C. arabica* Variedad Castillo® x diez líneas de *C. arabica* Etiopes, sembrados en la Estación Experimental Naranja, están siendo evaluados por su capacidad embriogénica y susceptibilidad a la broca del café. Para evaluar la capacidad embriogénica, a partir de explantes de hojas, se realizó la siembra durante tres años, de todos los materiales. Las 875 plantas provenientes de la madre CX2848 (ocho líneas híbridas) mostraron 100% de regeneración. Le sigue en capacidad de regeneración, 488 plantas de las líneas de los cruzamientos con la madre CX2385 (17 líneas híbridas), con 88% de regeneración. De los materiales provenientes de las plantas madre CU1842, 258 plantas de 15 cruzamientos sembrados, se regeneraron en un 60%.

Con base en los resultados de capacidad embriogénica,

número de plantas regeneradas y del trasplante en el campo se evaluó la producción acumulada, calidad y susceptibilidad a la broca del café. Además, se escogieron para ser llevados de cultivo *in vitro* a invernadero, los mejores genotipos que correspondieron a las plantas: 1. CU1842xE286, 2. CX2385xE554, 3. CX2385xE286 y 4. CX2848 x E554. Se trasplantaron 60 plantas de

cada uno de estos genotipos y 30 plantas control de la línea CX2848, en sustratos suelo: turba (Figura 8) y en sistema Jiffy. Las plantas *in vitro* fueron llevadas al invernadero en el mes de julio y, posteriormente, pasarán al campo para evaluar su desempeño agronómico y susceptibilidad a la broca. Se cuenta con material *in vitro* de estos mismos materiales que sigue regenerando.



a. Plantas mantenidas en el laboratorio.



b. Paso al invernadero.



c. Estado de las raíces en las plantas.



d. Siembra en sustrato suelo: turba.



e. Luego de 1 mes de trasplante.



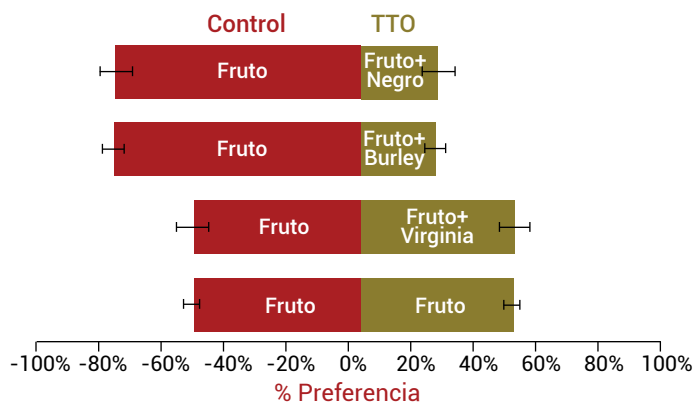
f. Plantas luego de 2 meses.

**Figura 8.** Pasos del trasplante de materiales híbridos (Plantas CU1842 x E286) de cultivo *in vitro* al invernadero.

## Evaluación de volátiles y plantas atrayentes y repelentes para el manejo de la broca del café bajo un esquema de manejo agroecológico.

En la búsqueda de alternativas para el manejo de la broca de café, se realizaron pruebas de olfatometría en el laboratorio y en condiciones controladas de campo donde se determinó la repelencia de la broca a frutos de café acompañados por *Nicotiana tabacum* y *Lantana camara* y la preferencia de la broca a frutos de café acompañados por *Emilia sonchifolia*. Se evaluó la función repelente de *N. tabacum* y *L. camara* y la función atrayente de *E. sonchifolia* para la broca en el campo en parcelas (150 plantas de café), en las que el experimento inició sin infestación de broca y se recogieron los frutos maduros cada 18-20 días. Se evidenció la repelencia causada por *N. tabacum* y *L. camara* sobre el insecto dado que la infestación en estos tratamientos mostró una reducción de 5,26% con respecto al testigo. Con el fin de llevar estos resultados a parcelas de validación en el campo, se seleccionó, en pruebas de olfatometría en el laboratorio, las variedades de tabaco Burley y Negro como altamente repelentes, causando un 75% de repelencia del insecto (Figura 9).

**Evaluación de la capacidad depredadora de *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* sobre la broca del café en el campo.** Por su comportamiento críptico, la broca del café es difícil de controlar con insecticidas químicos, debido a que su ciclo de vida transcurre casi en su totalidad dentro del fruto de café y a las condiciones climáticas durante periodos secos que favorecen su reproducción. Una alternativa es el control biológico mediante el aumento de depredadores que disminuyen las poblaciones de broca al interior de los frutos en el campo.



**Figura 9.** Preferencia de la broca del café a diferentes variedades de tabaco.

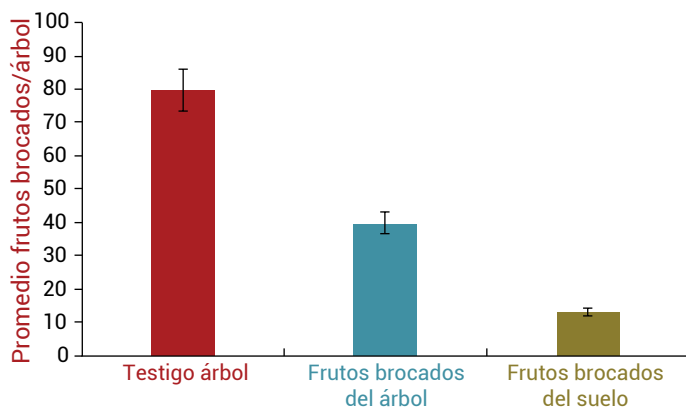
Para esto, se evaluó en el campo el depredador nativo *Cathartus quadricollis*, el cual había mostrado resultados promisorios en el laboratorio. Se estableció el experimento en la Estación Experimental Paraguaicito (Quindío), bajo un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y 15 repeticiones (Figura 10), evaluando el número de estados vivos de broca (EVB), 50 días después de la liberación de los depredadores. Las unidades de trabajo estuvieron conformadas por un árbol productivo de café, de tres años, encerrado con jaula entomológica. En cada árbol se ubicaron 50 granos de café infestados durante 20 días con broca, colgados de una rama en el tercio medio (Figura 11), liberando 150 adultos de *C. quadricollis* (proporción de 3:1 por grano brocado). Igualmente, en el suelo de cada árbol, se dispusieron 50 granos de café infestados con broca, liberando los 150 adultos del depredador. Se tuvieron dos testigos, uno para el tratamiento con liberación cuando se infestó en el tercio medio del árbol y otro cuando se liberó en el suelo, en los cuales no hubo depredadores. A través del análisis de varianza al 5%, se determinó que para la variable número de estados de broca vivos hubo diferencias estadísticas entre tratamientos ( $n=15$ ;  $P < 0,0001$ ). La prueba de Dunnett al 5%, mostró que los adultos de *Cathartus quadricollis* disminuyeron significativamente los niveles de infestación de broca en los frutos del árbol, cuando se colgaron los granos brocados en las ramas del árbol, con valores de 50,1% (Figura 12). Adicionalmente, cuando los frutos infestados se dispusieron en el suelo, la infestación por broca en los frutos del árbol fue menor en 67,3% con respecto al testigo (Figura 13).



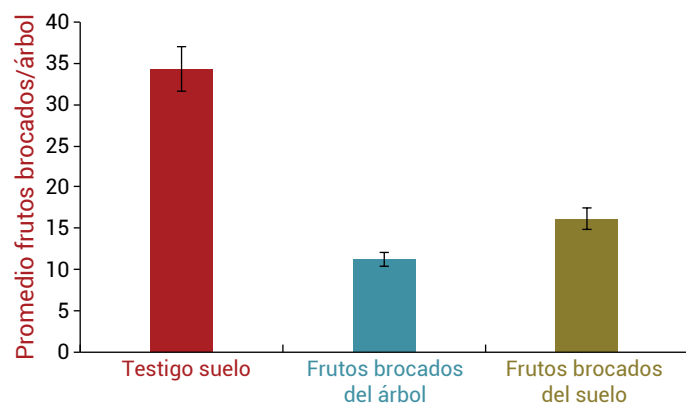
**Figura 10.** Unidades de trabajo conformadas por árboles de café productivos forrados con jaula entomológica, bajo un diseño experimental aleatorio.



**Figura 11.** Tratamientos utilizando café pergamino seco brocado, dispuestos en el árbol y en el suelo, dentro de cada unidad de trabajo.



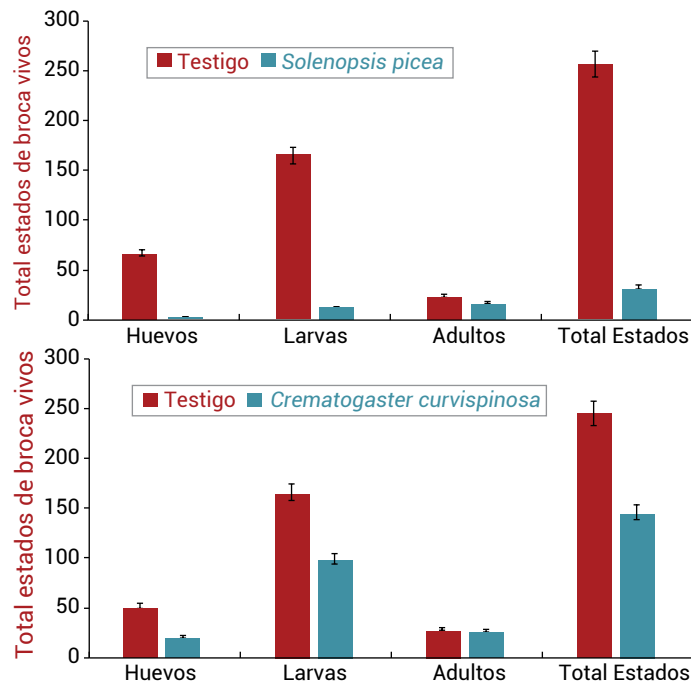
**Figura 12.** Promedios  $\pm$  error estándar del efecto de *Cathartus quadricollis* en la disminución de infestación de broca, en frutos de café del árbol, después de 50 días de exposición (n=15).



**Figura 13.** Promedios  $\pm$  error estándar del efecto de *Cathartus quadricollis*, en la disminución de la infestación de broca en frutos de café del suelo, después de 50 días de exposición (n=15).

**Evaluación de hormigas en el control de la broca del café.** La broca continúa reproduciéndose en los frutos brocados que se quedan sin recolectar después de las cosechas, causando infestaciones en la cosecha siguiente. Una estrategia para controlar estas poblaciones de broca y cortar el ciclo del insecto es mediante el control biológico con el uso de hormigas depredadoras, que tengan la capacidad de entrar a los frutos brocados y depredar sus estados biológicos. Para evaluar la capacidad depredadora de las hormigas sobre la broca, se establecieron ensayos en el campo, donde se tuvieron unidades experimentales conformadas por una malla de anejo conteniendo diez almendras de café infestadas por 20 días con broca, amarradas del tallo principal, en árboles de café productivos de cuatro años con presencia de nidos activos de hormigas. Por cada unidad experimental se contó con un testigo absoluto con exclusión de hormigas. Por cada especie de hormiga se tuvieron diez repeticiones, evaluando el número de estados vivos de broca (EVB), 24 h después de la exposición de los granos brocados a las hormigas. Se evaluaron tres parcelas de café, a libre exposición, ubicadas en las Estaciones Experimentales de Paraguaicito (Quindío), El Rosario (Antioquia) y La Trinidad (Tolima). Se evaluaron tres especies de hormigas, *Solenopsis picea*, *Crematogaster curvispinosa* y *Pheidole* sp., por ser estas especies las más abundantes en los cafetales seleccionados. Los resultados mostraron a través del análisis de varianza al 5%, diferencias significativas para la variable número de estados de broca vivos entre las diferentes especies (n=10;  $P < 0,0001$ ) (Figura 14). La prueba de Dunnett al 5%, mostró nuevamente que *Solenopsis picea* fue la especie que mayor cantidad de estados de broca depredó, capaz de penetrar los granos y retirar hasta 87,2% de los estados biológicos de broca con respecto al testigo después de 24 h de exposición, seguida de *Crematogaster curvispinosa* con 40,7%. *Pheidole* sp., por su mayor tamaño corporal, no pudo pasar por los orificios de entrada de la broca, por lo que no depredó estados biológicos. La especie de hormiga que predominó en este estudio por su abundancia y dominancia en dos de las localidades evaluadas fue *Solenopsis picea*. El promedio de adultos de *S. picea* hallados dentro de los granos brocados fue de  $23,5 \pm 12,1$  individuos, confirmando que esta especie entra a los frutos de café para depredar broca, mientras que el promedio de adultos de *C. curvispinosa* fue de  $4 \pm 0,3$ . Los resultados muestran que *S. picea* es la especie con mayor potencial para ser

incluida en un programa de Manejo Integrado de la Broca del café (Figura 15), ya que es una especie dócil, pequeña, de fácil manejo, que no pica ni genera molestias a los recolectores.



**Figura 14.** Promedios  $\pm$  error estándar del número de estados de broca vivos para dos especies de hormigas depredadoras de broca (*Solenopsis picea*, *Crematogaster curvispinosa*) después de 24 h de exposición, con relación al testigo, con exclusión de hormigas (n=100).



**Figura 15.** *Solenopsis picea* depredando broca en las unidades experimentales, utilizando granos de café pergamino seco brocados en el campo.

## Cochinillas de las raíces del café

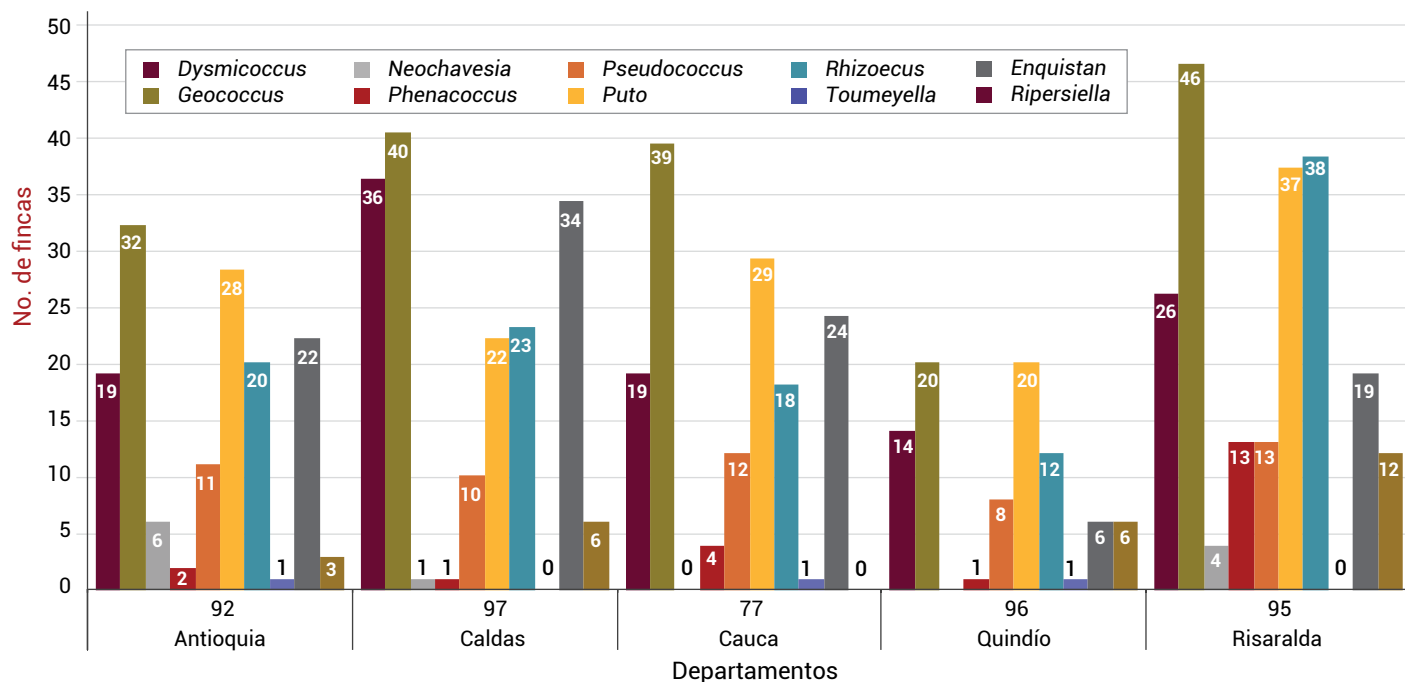
**Identificación de las especies de cochinillas de la rizósfera del café y sus controladores biológicos.** Con el propósito de conocer la situación actual de las cochinillas de las raíces del café en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda y Tolima, se realizó un diagnóstico en 100 fincas por departamento, en cafetales menores a dos años de edad, seleccionadas aleatoriamente en el Sistema de Información

Cafetera (SICA). Se hizo un reconocimiento de síntomas (amarillamiento y muerte de árboles) y la recolección manual de cochinillas de las raíces en diez árboles por lote. En el laboratorio se procesaron las muestras recolectadas y se identificaron las especies. Los resultados muestran, en general, que la especie más abundante en los departamentos es *Geococcus* (Figura 16), un género al cual aún no se le asocian daños económicos en café. Sigue en importancia la especie *Puto barberi*, que la corrobora como la más distribuida y que mayores daños causa en el establecimiento de cafetales. Las especies de cochinillas que enquistan van en aumento, por lo tanto, ameritan estudios más detallados con el fin de avanzar en las estrategias de control.

**Efecto del zoqueo en el crecimiento de raíces y poblaciones de cochinillas en café.** El zoqueo es una práctica de renovación de cafetales en la cual se ha observado un alto porcentaje de muerte de plantas. En la actualidad, se atribuye la muerte de zocas exclusivamente a enfermedades como la llaga macana; sin embargo, pueden existir otros factores asociados a la pérdida de plantas durante esta práctica, que no se han explorado. Este proyecto busca: 1) identificar el efecto del zoqueo en el crecimiento de raíces y poblaciones de cochinillas en café y 2) evaluar una estrategia de manejo de cochinillas en el primer año después del zoqueo. Este trabajo se está realizando en

la Estación Experimental La Catalina, en cafetales de seis años sembrados con Variedad Castillo®. La información inicial obtenida en el primer muestreo realizado entre julio y agosto de 2017 (momento del zoqueo del lote) permitió encontrar que cada árbol (n = 12) tuvo en promedio 988,9  $\pm$  32,22 g de peso seco de raíces, en un volumen de 0,462 m<sup>3</sup> de suelo. En promedio, el 98,2 % de las raíces extraídas de cada árbol estaban vivas. Adicionalmente, se encontró un promedio de 180,06  $\pm$  36,59 de cochinillas asociadas a las raíces de estos árboles. La especie más numerosa fue *Puto barberi* con un promedio de 115,8  $\pm$  35,51 individuos por árbol. Estos insectos estuvieron distribuidos de forma aleatoria en las raíces presentes en





**Figura 16.** Número de fincas con presencia de los géneros de cochinillas de las raíces del café, por departamento.

el volumen de suelo evaluado. Se continuará con estas evaluaciones durante un año, realizando evaluaciones trimestrales.

**Control biológico de cochinillas con entomopatógenos.** Con el objetivo de proponer una estrategia para el control de las cochinillas de la raíz basada en el uso de entomopatógenos, se estandarizó una metodología para el mantenimiento de *P. barberi* en raíces de *Talinum paniculatum*, en condiciones de laboratorio, y la posterior aplicación de hongos entomopatógenos (Figura 17). Con ésta se determinó la virulencia de cepas de *Metarhizium anisopliae* y *Metarhizium robertsii* sobre *Puto barberi*. Se sumergieron 50 adultos de cochinillas oviplenas, en 100 mL de: 1. Agua, 2. *Metarhizium anisopliae* ( $1 \times 10^7$  conidias/mL) y 3. *Metarhizium robertsii* ( $1 \times 10^7$  conidias/mL). Los insectos fueron individualizados, colocando 12 insectos por caja de Petri. Cada caja contenía seis piezas de las raíces de *Talinum* previamente desinfectadas. Por cada tratamiento se mantuvieron cuatro cajas de Petri, las cuales se incubaron a 25°C y 12 h luz. Se determinó el número de insectos muertos al cabo de 12 días. Los dos hongos causaron mortalidades sobre los insectos entre 76% y 85% y en el agua la mortalidad fue de 24% (Tabla 13). El análisis de varianza mostró diferencias en el control con respecto a los hongos, pero no se encontraron diferencias estadísticas

entre las dos cepas (Duncan 5%). En el año 2016 ya se habían evaluado las dos cepas en el almácigo y este año se evaluó nuevamente el efecto de *M. robertsii*. Plantas de 4 a 6 meses de edad fueron infestadas con cinco hembras oviplenas de *P. barberi*. Luego de identificar la reproducción de las cochinillas en las raíces a los 60 días, se evaluó el efecto de la aplicación sobre la plaga de: 1. *Metarhizium robertsii* ( $2 \times 10^{10}$  esporas/L) y 2. Agua. Cada tratamiento fue aplicado en 50 plantas, asperjando 50 cc de la solución a la base de la raíz de cada planta. Luego de 20 días se examinaron las raíces y se identificó la presencia de la plaga y el número de cochinillas por planta. En las plantas tratadas



**Figura 17.** Trozo de raíz de *Talinum paniculatum*, desinfectado por lavado con agua y jabón y usado para el mantenimiento, alimentación y crecimiento de *P. barberi*.

con agua, el porcentaje de infestación fue de 95% y en promedio se encontraron 25 cochinillas por planta. Mientras que en las plantas tratadas con *M. robertsii* la infestación disminuyó un 47% y se encontraron siete cochinillas por planta. Se muestra una disminución de la población de insectos en 87%. Se evaluará la eficacia del hongo con respecto al insecticida comúnmente utilizado para el control de estos insectos en el almácigo.

**Tabla 13.** Mortalidad de cochinillas causada por *Metarhizium* en el laboratorio.

Tratamientos	N	Porcentaje de mortalidad	E.E.
Agua	50	24,4 A	3,4
<i>M. anisopliae</i>	48	75,9 B	4,8
<i>M. robertsii</i>	48	85,4 B	5,2

Prueba Duncan al 5%, los tratamientos difieren del testigo.

### Evaluación de plantas hospedantes de cochinillas de las raíces del café.

Con el fin de determinar el papel de las arvenses en la infestación por *Puto barberi* en café, en condiciones semicontroladas y durante dos fases, se evaluaron las especies *Talinum paniculatum*, *Sida rhombifolia*, *Conyza bonariensis*, *Emilia sonchifolia* y *Artemisia absinthium* como hospedantes y *Borreria laevis*, *Euphorbia heterophylla*, *Cyperus ferax*, *Erechtites hieracifolia* y *Clidemia rubra* como plantas no hospedantes. Para la primera fase la unidad de muestreo estuvo conformada por una bolsa de 14 kg donde se sembró una planta de café de cuatro meses y una planta de cada especie de arvense descrita; como testigos se evaluaron las combinaciones de café + café y *C. bonarinesis* + *C. bonarinesis* y en el centro de cada unidad de muestreo se liberaron cinco hembras ovíparas de *P. barberi*. Cada unidad de muestreo tuvo 30 repeticiones.

Los resultados mostraron que cuando el café está junto con una de las arvenses evaluadas

la cochinilla prefiere a la planta de café, con porcentajes de infestación entre el 60% y el 99%. Para la segunda fase, se seleccionaron y sembraron las arvenses *S. rhombifolia*, *C. bonariensis*, *E. sonchifolia* y *A. absinthium*, y se infestaron con cinco hembras ovíparas de *P. barberi*; al cabo de 30 días se sembró al lado de cada arvense una planta de café de cuatro meses de edad, conformando así las unidades experimentales. Por cada unidad experimental se tuvieron 30 repeticiones; al cabo de 60 días se evaluaron las variables de la población de *P. barberi* por unidad de muestreo y porcentaje de infestación por planta como variable de interés y así

determinar si *P. barberi*, después de estar establecida en las arvenses, se dispersa hacia la planta de café. Los resultados mostraron que *P. barberi* prefiere quedarse en *Sida rhombifolia*, *Artemisia absinthium* y *Emilia sonchifolia* con porcentajes de infestación de 85%, 84% y 79%, respectivamente; caso contrario ocurre con la arvense *Conyza bonariensis* (venadillo), donde prefiere pasarse a la planta de café una vez está establecida en la arvense, con porcentajes de infestación de 32% para venadillo y 68% para café (Tabla 14). Estos resultados sugieren que, en una estrategia de control cultural, se debería dejar en los cafetales las arvenses *Sida rhombifolia*, *Artemisia absinthium* y *Emilia sonchifolia*, pero deben eliminarse las plantas de *Conyza bonariensis* por ser fuente de dispersión. Estos resultados aportan elementos para el control de *Puto barberi* y serán evaluados en el campo, con un manejo cultural y agroecológico.

### Chinche de la chamusquina del café

**Cría de *Monalonion velezangeli* en el laboratorio.** Se estableció un sistema de cría de la chinche de la chamusquina del café, *Monalonion velezangeli*, que permita realizar investigaciones para el manejo de esta plaga.

**Tabla 14.** Porcentaje de cochinillas que prefieren permanecer en las arvenses, prueba t al 5%.

Tratamiento	Grupo	Media	N
<i>Sida rhombifolia</i> + <i>C. arabica</i>	A	85,12	20
<i>Artemisia absinthium</i> + <i>C. arabica</i>	A	84,18	21
<i>Emilia sonchifolia</i> + <i>C. arabica</i>	A	78,83	26
<i>Coffea arabica</i> + <i>C. arabica</i>	B	43,98	23
<i>Conyza bonariensis</i> + <i>C. arabica</i>	B	31,94	21

Bajo condiciones controladas de 20±1 °C, H.R entre 80%-90% y fotoperiodo 12:12; se evaluaron los hospedantes: mazorca de cacao, frutos y brotes tiernos de aguacate, brotes tiernos de guayaba, brotes tiernos de café y la arvense *Cissus verticillata* (Vitaceae). La arvense *C. verticillata* (Vitaceae) permitió una mayor sobrevivencia de las ninfas recolectadas en el campo de 79,1%, además se logró por primera vez el ciclo completo del insecto (Tabla 15) y obtener más de tres generaciones; la

capacidad de oviposición de las hembras en esta planta aumentó a medida que transcurrieron las generaciones a partir de los parentales (Tabla 16). La duración de los estados de vida permitió un ciclo total en 51,76 días. El ciclo completo de huevo hasta adulto ocurrió en 41,1 días. La cría sobre *C. verticillata* ha permitido desarrollar ensayos exploratorios de hongos entomopatógenos y algunas moléculas de síntesis química para el control de la chamusquina.

**Tabla 15.** Duración de los estados biológicos de *Monalonion velezangeli* sobre *Cissus verticillata*.

Estado biológico	Duración de cada estado (días)			Sobrevivencia
	Promedio	D.E	n	(%)
Huevo	14,6	0,90	30	80
Ninfa	26,5	2,1	24	46
Adulto	10,66	2,6	11	46
<b>Total</b>	<b>51,76</b>	<b>1,9</b>		

**Tabla 16.** Posturas por hembra de *M. velezangeli* sobre *C. verticillata* en cada generación.

	Parentales	Primera generación	Segunda generación
Promedio	14, 25	21, 6	31,4
D.E	5,2	3,2	3,6
N	28	14	7

D.E= Desviación estándar

### Cría de depredadores para el control de la chinche de la chamusquina del café.

*Monalonion velezangeli* es una plaga de la caficultura del Sur de Colombia. El control de este insecto se recomienda en los momentos en los cuales comienzan los ataques con aspersiones de insecticidas de manera dirigida. A pesar de haberse reportado enemigos naturales en el campo,

no existen estrategias de aumentación o conservación que disminuyan las poblaciones. Las chinches asesinas de la familia Reduviidae se han registrado alimentándose de los estados ninfales de *Monalonion* en la caficultura de Huila. Se realizó una exploración de campo en los municipios de La Plata, La Argentina y Palestina en el departamento del Huila, para lo cual se recolectaron

29 posturas, 216 ninfas y 14 adultos de seis especies de Reduviidae. Se identificaron tres especies con potencial de control biológico: *Zelus vespiformis* (Hart), *Arilus gallus* (Stal) y *Castolus lineatus* (Maldonado) (Figura 18), las cuales están siendo criadas en dietas de *Galleria mellonella* en el laboratorio en Cenicafé. Durante la cría se observó que las tres especies atraviesan por cinco instares ninfales. Las especies *Z. vespiformis* y *C. lineatus* presentaron policromatismo en el quinto instar ninfal y solo *Z. vespiformis* lo presentó en su estado de hembra adulta, mostrando hasta ocho morfotipos. Como parte de la descripción morfológica de *Z. vespiformis* y *A. gallus* se disecaron e identificaron las genitales femeninas y masculinas, lo que a su vez permitió la respectiva corroboración de la especie. Por otro lado, de manera preliminar, se realizaron pruebas de depredación de ninfas y adultos de *Z. vespiformis* y adultos de *A. gallus* sobre ninfas y adultos de *Monalonion dissimulatum*. Se registraron depredaciones que oscilan entre 12% y 47%.

### Evaluación de hongos entomopatógenos para el control de *Monalonion velezangeli*.

Se realizaron siembras en el medio PDA del hongo *B. bassiana* Bb9010 y Bb 9011, aisladas previamente de *Monalonion*, y se evaluó la virulencia y patogenicidad de estos hongos sobre el insecto. Se recolectaron insectos de *Monalonium dissimulatum* en cacao. Sobre éstos se determinó por inmersión la virulencia de las cepas a una concentración de  $1 \times 10^7$  conidias/mL y se observó la mayor virulencia de la cepa Bb9011 (63% de mortalidad). Una vez se logró el crecimiento y el

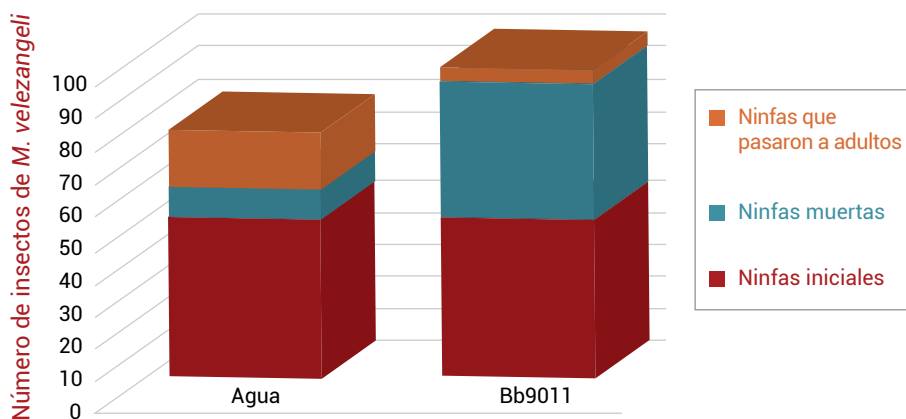


**Figura 18.** Especies de depredadores de la familia Reduviidae del departamento de Huila, potenciales controladores biológicos de la chinche de la chamusquina del café.

mantenimiento de *M. velezangeli*, usando la planta *Cissus verticillata*, se evaluó por inmersión la virulencia de la cepa Bb9011. Se tomaron 50 insectos de *M. velezangeli* y se sumergieron en 100 mL de la solución del hongo a una concentración de  $1 \times 10^7$  por espacio de 30 s. Como control se sumergieron otros 50 insectos en agua. los insectos se individualizaron y se colocaron cinco de éstos en una caja que contenía tallos y hojas de la planta *C. verticillata*. Se mantuvieron nueve cajas con cinco insectos por tratamientos, las cuales se incubaron a 23°C y se revisaron diariamente durante 8 días, contabilizando el número de individuos muertos y el número de ninfas que pasaron a adultos. Se encontró que el hongo causa una mortalidad de 84% sobre la población del insecto (Figuras 19 y 20). El siguiente paso consistirá en evaluar el efecto de hongo en condiciones controladas de invernadero.



**Figura 19.** Ninfa y adulto de *M. velezangeli* infectados con *B. bassiana* Bb9011.



**Figura 20.** Efecto de *B. bassiana* (Bb9011) en el desarrollo de *M. velezangeli*.

## Biodiversidad de la zona cafetera y plagas potenciales del café

### Actividad de recolección e identificación de artrópodos plaga y benéficos de la zona cafetera.

Se atendieron consultas del Servicio de Extensión y de caficultores para el reconocimiento fitosanitario de insectos plagas emergentes en el cultivo del café en diferentes regiones del país, que permitieron identificar las especies causantes de daño y dar las recomendaciones de manejo. Como resultado se tiene la descripción de una nueva especie de saltamontes para la ciencia, *Poecilocloeus coffeaphilus* (Orthoptera: Acrididae) del Suroeste antioqueño, la cual causa daños al follaje de café y consume la pulpa de los frutos maduros (Figura 21). Igualmente, se presentaron ataques de los escarabajos *Platycoelia valida* (Figura 22) en el municipio de Acevedo (Huila), causando defoliación a los árboles de café y guamos, brotes de *Plectris pavidia* y *Astaena valida* (Coleoptera: Melolonthidae) en el municipio de El Tambo (Cauca) consumiendo follaje y defoliando plantas de café en levante. Se reportaron ataques de gusano trozador de los almácigos *Spodoptera latifascia* (Lepidoptera: Noctuidae) en Sevilla (Valle) (Figura 23) y

ataques de la chinche *Nysius* sp. (Hemiptera: Lygaeidae), en plantas jóvenes de café en el municipio de La Florida (Nariño). Igualmente se atendieron consultas sobre problemas de anillamiento de tallos de café en lotes en levante, causados por la babosa *Sarasinula plebeia* en Anserma (Caldas). Adicionalmente, se observó el anillamiento de tallos ocasionado por el gusano biringo *Agrotis ipsilon* en siembras nuevas en Palestina (Caldas). Un caso particular de anillamiento de tallos en café se presentó en el mes de enero en Neira (Caldas), ocasionado por el gusano tierrero *Spodoptera frugiperda* en un lote donde antes había cultivos de maíz. Se observaron daños ocasionados por vaquitas *Naupactus* sp. (Figura 24) y *Compsus viridilineatus* (Coleoptera: Curculionidae), afectando follaje en zocas nuevas en Risaralda y Caldas, durante los meses de abril y mayo, con la llegada de las lluvias. Dos casos de hormiga polvo de tabaco *Wasmannia auropunctata* en el municipio de Fundación en la Sierra Nevada de Santa Marta (Magdalena) y en Pereira (Risaralda), las cuales ocasionan picaduras y molestias a los recolectores de café. Para el manejo de las poblaciones de esta hormiga se utilizaron cebos tóxicos conteniendo salvado de trigo, melaza o harina de pescado como atrayentes impregnados con el insecticida fipronil dispuesto en el plato de los árboles de café.

Se halló un nuevo registro de escama corrugada en café, perteneciente a la especie *Alecanochiton marquesi* Hempel, 1921, género monotípico conocido solo de Brasil y Puerto Rico (Figura 25), asociada con la hormiga polvo de tabaco. Como consecuencia de esta simbiosis, las poblaciones de la escama se incrementaron produciendo abundante deposición de deyecciones azucaradas sobre los frutos, follaje y ramas de café sobre las que creció el hongo *Capnodium* sp. causante de la fumagina. En Norte de Santander se presentaron ataques del gusano gelatina *Minacraga argentata* (Lepidoptera: Dalceridae), siendo éste un nuevo registro en café. El 90% de las larvas recolectadas estaban parasitadas con el hongo *Beauveria bassiana*. Aislamientos de esta cepa de hongo se preservaron en la colección de hongos entomopatógenos de Cenicafé. En Timaná (Huila) se presentó la muerte de zocas de café por problemas de drenaje y encharcamiento en suelos pesados, causando la pudrición de raíces. En algunas de estas zocas secas se hallaron orificios de entrada de escarabajos pasadores de la corteza de los tallos *Xyleborus affinis* (Coleoptera: Scolytinae). Estos coleópteros atacan los tallos de árboles recién muertos o

en proceso de marchitamiento y debilitados. En Isnos (Huila) se atendieron consultas de la araña parda del Mediterráneo *Cyrtophora citricola* afectando cafetales. Cuando las telarañas son muy densas y cubren todo el árbol, se eleva la temperatura, lo cual causa el secamiento de las hojas que caen y quedan enredadas en la telaraña formando una maraña que produce secamiento de los frutos más jóvenes. Se presentaron daños ocasionados por arañita roja *Oligonychus yothersi* en cafetales de varios municipios de los departamentos de Caldas, Risaralda y Tolima, con el incremento de las temperaturas en el mes de febrero y posteriormente en junio y julio.

### Actividad de mantenimiento y caracterización del cepario de hongos de Cenicafé.

Este año se incrementó el número de aislamientos en el cepario de 297 a 328. Se trabajó en la recuperación de cepas de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* que estaban liofilizadas y almacenadas a  $-20^{\circ}\text{C}$  desde 1997 y 1998. Todos los aislamientos hoy están preservados en tres métodos de almacenamiento: nitrógeno líquido, glicerol- $20^{\circ}\text{C}$  y almacenamiento en PDA con aceite mineral. Se preservaron 14 nuevas cepas de *B. bassiana* almacenadas en 1998 y se pasó de 132 a 147 aislamientos y se continuó con las actividades de evaluación de preservación en 50 cepas; éstas fueron recuperadas de los tres métodos luego de 60 meses de preservación con un promedio de germinación de esporas de 80%. En el caso de *Metarhizium* sp. se pasó de 26 a 42 aislamientos, adicionando 16 aislamientos con fecha de 1998.



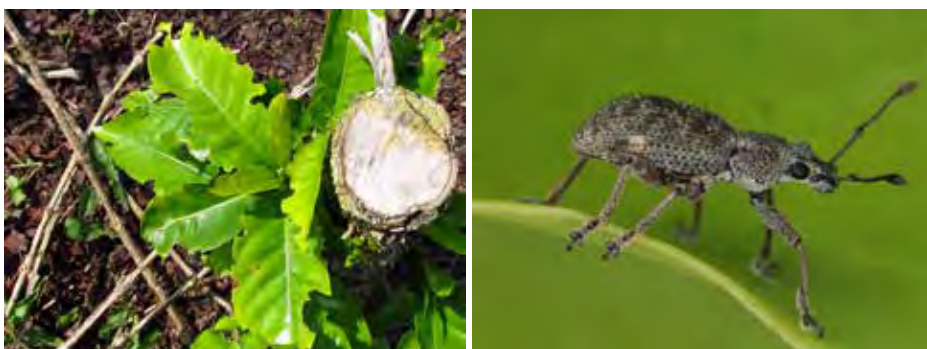
**Figura 21.** *Poecilocloeus coffeaphilus* sp. nov., nueva especie para la ciencia, plaga del café en el Suroeste de Antioquia.



**Figura 22.** *Platycoelia valida*, escarabajo verde defoliador del café y el guamo.



**Figura 23.** Gusano trozador de los almácigos de café *Spodoptera latifascia*.



**Figura 24.** Picudo del género *Naupactus* sp., consumiendo follaje de café en zocas y plantaciones en levante.



**Figura 25.** Escama corrugada del café, *Alecnochiton marquesi*, nuevo registro para Colombia, asociada con la hormiga polvo de tabaco *Wassmania auropunctata* con abundante crecimiento de fumagina sobre los frutos y ramas de café.

Diez de los 26 aislamientos fueron evaluados y vueltos a preservar, las evaluaciones indican que en este género luego de 5 años, disminuye la germinación de las esporas en 50%. Se aisló y preservó una muestra de estroma de hongo asociado a las infestaciones de cochinillas de las raíces (Figura 26), posiblemente *Bornetina* o *Agaricalis Diacanthodes*.

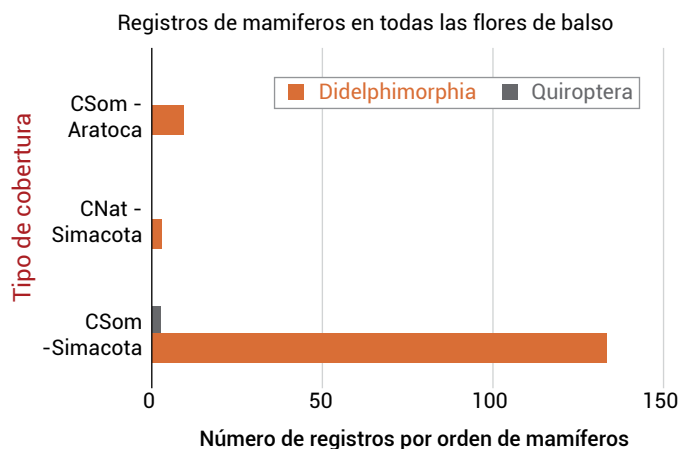
**Evaluación de los visitantes florales de balso negro en cobertura natural y sistema agroforestal en Santander.** Para este proyecto, que tiene como objetivo evaluar la diversidad de visitantes florales de balso negro en cobertura natural y sistema agroforestal en el departamento de Santander, se realizó una salida de campo para recolectar datos durante el pico de floración, en el primer trimestre del año. Se realizaron grabaciones diurnas y nocturnas que ascienden a 108 h de grabación, correspondientes a 216 flores en tres sitios del estudio. Además de las grabaciones, se recogieron flores en cada sitio, con el fin de evaluar los individuos muertos en su interior y realizar su identificación. Las grabaciones que registraron las visitas nocturnas a la flor del balso muestran que en el grupo de mamíferos estas visitas corresponden a dos órdenes, *Didelphimorphia* o marsupiales y *Quiroptera* o murciélagos (Figura 27); presentándose la mayor cantidad de registros en el cafetal con sombra en Simacota. En referencia a los insectos nocturnos, el orden que más registró visitas a la flor fue *Lepidoptera* o polillas nocturnas (Figura 28). Los detalles de las interacciones de insectos nocturnos con la flor muestran que en la mayoría de los casos se produce

contacto con la parte externa de la flor, pero no ingresó a ella, por el contrario, son los mamíferos quienes en su mayor parte ingresan de alguna forma a la parte interna de la flor. Finalmente, de las 259 flores recolectadas en el campo, se encontró una mayor proporción de flores con individuos muertos en un cafetal con sombra en Aratoca (96,8%), seguido por el cafetal con sombra y el fragmento de bosque en Simacota con el 54,7% y 40,5%, respectivamente. De éstos,

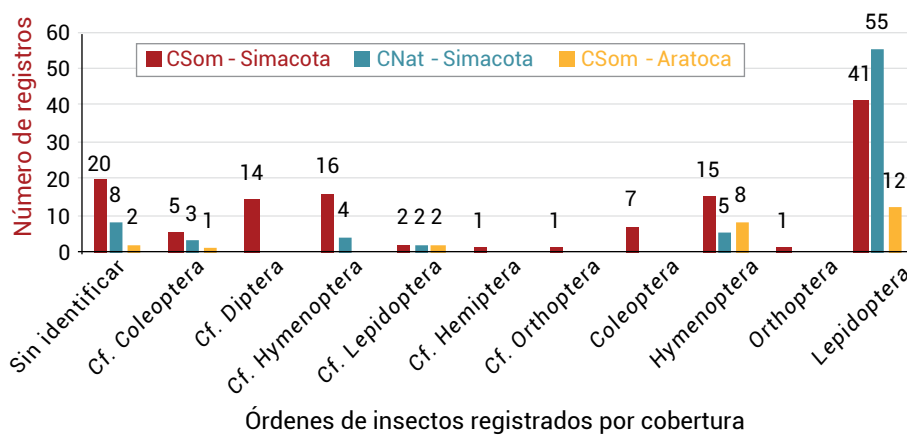
los órdenes más abundantes que han sido procesados hasta el momento corresponden a Hymenoptera (734 individuos), Diptera (136) y Coleoptera (88). Los menos abundantes son Hemiptera, Lepidoptera y Neuroptera, con 11, 8 y 2 individuos, respectivamente. El orden Hymenoptera es el más abundante en todas las coberturas, el Diptera el segundo más importante en los cafetales con sombra y el Coleoptera en cobertura natural.



**Figura 26.** Corte transversal de una raíz, con cochinillas recubiertas de estroma del hongo, posiblemente Agaricales o Borneatina.



**Figura 27.** Número de registros de los órdenes de mamíferos obtenidos en las flores de balso negro, en las tres localidades de estudio. CNat: cobertura natural, CSom: cafetal con sombra.



**Figura 28.** Número de registros de los órdenes de insectos obtenidos en las flores de balso negro, en las tres localidades de estudio. CNat: cobertura natural, CSom: cafetal con sombra

## Experimentación



La Disciplina de Experimentación continúa con la coordinación técnico administrativa de las ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, con un área total de 529,48 ha. De ellas, 174,27 ha están sembradas en café, el 50% están destinadas a la producción de semilla de Variedad Castillo®, Castillo® Regional, Cenicafé 1 y Tabi; el 20% en proyectos de investigación y el 30% en el parque experimental, que equivale a áreas con lotes potenciales para establecer nuevas actividades de investigación.

En el uso del suelo se mantienen 160,52 ha para la conservación de aguas, guadua y bosques y 44,52 ha en pastos, entre otros. La infraestructura ocupa un área de 15,69 ha y se tienen 127,7 ha en otros usos y áreas no cultivables.

Además, se cuenta con un huerto clonal de macadamia en la Estación Experimental Paraguaicito, que ocupa un área de 4,79 ha y está en arrendamiento a la Empresa Del Alba. En esta Estación Experimental se continuó con las actividades de investigación en el cultivo de maíz, en convenio con Fenalce, que

demanda un área de 1,99 ha. Los experimentos para este período en fincas de agricultores ocuparon 9,38 ha, presentando una disminución del 9,46% con respecto al período anterior.

Se desarrollaron 138 réplicas de investigaciones en las Estaciones Experimentales de Cenicafé. De ellas están vigentes 130. Por disciplinas, se destacan por su participación en el desarrollo de investigaciones, Fitotecnia con 30, Mejoramiento Genético con 23 y Fisiología con 17, entre otras. En cuanto a las Estaciones Experimentales donde se desarrollan las réplicas, se resaltan Naranjal con 51, seguido de Paraguaicito con 22, La Catalina y El Tambo con 17.

Además, se desarrollaron 15 réplicas de investigaciones en fincas de caficultores, ubicadas en el área de influencia de las Estaciones Experimentales, de las cuales siguen vigentes 13; sobresale el apoyo de las Estaciones Experimentales Paraguaicito, San Antonio y El Tambo, con tres réplicas cada una.

Un segundo objetivo es apoyar al Servicio de Extensión en actividades de

difusión de las tecnologías generadas por Cenicafé. En el período, se recibieron 8.391 visitantes, entre caficultores, extensionistas, estudiantes y otros; un 12% más, que en el período anterior. El 52% de los visitantes fueron caficultores, el 19% Extensionistas de la Federación y el 13% estudiantes.

El tercer objetivo, es la implementación del SGI en el proceso Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica, con el alcance a todas las Estaciones de Experimentación, la implementación de la norma ISO 14001 componente ambiental, en la Estación Naranjal, y OSHAS18001, en todas las Estaciones Experimentales.

El cuarto objetivo propuesto por la Disciplina de Experimentación es la producción y distribución de semilla que se lleva a cabo en las Estaciones Experimentales de Cenicafé. Para el período, se distribuyeron 87.315 kg de semilla, un 58,6% más con respecto al período anterior y un cumplimiento del Acuerdo de Nivel de Servicio del 94%.

Los Comités que demandaron mayor cantidad de semilla



fueron Huila con 10.505 kg, Santander con 9.739 kg, Cesar-Guajira con 8.790 kg y Antioquia con 7.179 kg.

Por variedad, el 59% de la semilla fue Variedad Castillo® General, seguido de Variedad Castillo® El Tambo con el 10%; Variedad Castillo® El Rosario con el 9% y el 8% de Variedad Castillo® Naranjal. Adicionalmente, se han

distribuido 1.829 kg de semilla de la nueva Variedad Cenicafé 1.

En cuanto a la procedencia de la semilla, el 39% proviene de la Estación Experimental Naranjal, el 18% de La Catalina, el 16% de La Trinidad y el 10 % de El Rosario.

A finales del año 2016 se iniciaron los trámites de derechos de obtentor para las progenies: CU1778, CU2021,

CU1819, CU1825, CU1849, CU1953, CU1993 y CU2034 pertenecientes a la Variedad Cenicafé 1. Adicionalmente, se tiene en proceso de inscripción las progenies CU1997 y CX2074. Además se tienen en almácigo las plantas que formarán parte de la evaluación de las pruebas agronómicas de Distinguibilidad, Homogeneidad y Estabilidad – DHE, de la Variedad Cenicafé 1.

## Fisiología vegetal



### **Evaluación de variables morfo-agronómicas relacionadas con factores de rendimiento y uso eficiente de recursos (carbono y energía) en germoplasma de café.**

En la Estación Experimental San Antonio (Santander) se evaluaron 15 genotipos de *C. arabica*, sembrados en septiembre de 2014, a libre exposición. Sobre ellos, durante los años 2016 (segundo año de establecido) y 2017 (tercer año de establecido) se evaluó la tasa de asimilación neta ( $A$ ) de hojas en dos momentos. El primero fue cuando el árbol prevalentemente se encontraba en llenado de frutos y, el segundo, cuando los frutos están próximos y superaron la madurez fisiológica. De las curvas ( $A/PAR$ ) se determinaron los parámetros tasa de asimilación bruta de  $CO_2$  saturada por la luz ( $A_{max}$ ;  $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), tasa de respiración oscura durante el día ( $Rd$ ;  $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ), producción cuántica aparente ( $\phi$ ) y el factor de convexidad de la curva ( $\theta$ ), punto de compensación lumínica (LCPT) y de punto de saturación lumínica (LSP).

El análisis de las curvas ( $A/PAR$ ) mostró que los parámetros  $A_{max}$ ,  $\phi$  y  $\theta$  no difirieron

estadísticamente en las dos etapas fenológicas evaluadas, mientras que la  $Rd$  fue menor en la etapa de llenado de frutos, así como en los parámetros LSP (9,0%) y LCPT (22,7%), durante el primer año productivo (2016) (Tabla 17). En el segundo año productivo (2017) los valores de  $A_{max}$  y  $\phi$  fueron significativamente mayores para la etapa de llenado de frutos, a diferencia de la  $Rd$ , con valores mayores en la etapa de frutos maduros (Tabla 17 y Figura 29). Puede afirmarse que una mayor cantidad de carbono se fijó durante la etapa de llenado de granos.

Se observó que durante la etapa del llenado de frutos (entre el 30% y el 70% del tamaño final), estos vertederos influyen sobre los órganos fuente, aumentando la actividad fotosintética de las hojas. Una vez la fuerza del vertedero se reduce, cuando los frutos están próximos a la madurez fisiológica (90% o más de su tamaño final), la actividad de la fuente también lo hace. En 2016 hubo diferencia como la observada en 2017, posiblemente por la cantidad de frutos presentes en el árbol. En términos prácticos, la fotosíntesis debería medirse durante la etapa de llenado de granos.

### **Identificación de accesiones de *Coffea* tolerantes a la acidez del suelo.**

Uno de los factores limitantes de la producción en muchas regiones cafeteras de Colombia es la acidez del suelo. De acuerdo con los registros históricos de los análisis de laboratorio, realizados durante los últimos 20 años, un alto porcentaje de las muestras evaluadas presenta problemas potenciales, principalmente valores de pH menores de 5,0 y aluminio intercambiable  $Al^{3+}$  mayor a  $1\ cmol_c\ kg^{-1}$ . El 52% de las hectáreas sembradas en café están en suelos derivados de cenizas volcánicas, altamente fijadores de fósforo, ricos en materia orgánica, de excelentes condiciones físicas, con predominio de alófana en la fracción arcilla y que poseen óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, con pH inferior a 5,5, factores que influyen negativamente en la disponibilidad de nutrientes para el cafeto. El objetivo de este proyecto de investigación es identificar en la Colección Colombiana de Café accesiones de *Coffea arabica* con tolerancia a la acidez del suelo, que sirvan como futuros progenitores en el desarrollo de variedades de café tolerantes a este estrés abiótico.

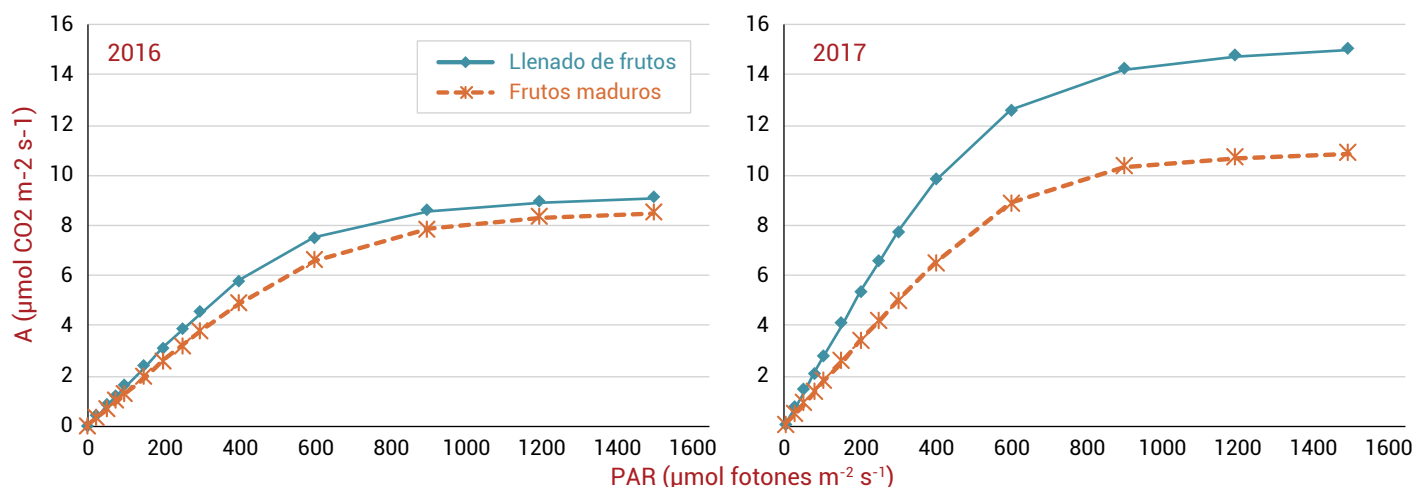
**Tabla 17.** Parámetros estimados de las curvas (A/PAR) para el combinado de 15 genotipos de *C. arabica* en dos estados fenológicos del fruto, durante los años 2016 y 2017.

Parámetro	Estado del fruto	Valor	EE	LI	LS	
<b>2016 (primer año productivo)</b>						
<b>Amax</b>	Frutos en llenado	9,55	0,76	8,05	11,04	ns
	Madurez fisiológica	8,97	0,69	7,61	10,32	
$\varphi$	Llenado de frutos	0,016	0,002	0,012	0,020	ns
	Madurez fisiológica	0,013	0,002	0,010	0,016	
$\theta$	Llenado de frutos	0,92	0,096	0,729	1,108	ns
	Madurez fisiológica	0,93	0,077	0,776	1,078	
<b>Rd</b>	Llenado de frutos	1,76	0,17	2,10	1,43	*
	Madurez fisiológica	2,39	0,19	2,77	2,02	
<b>LCPT</b>	Llenado de frutos	71,4				
	Madurez fisiológica	92,5				
<b>LSP</b>	Llenado de frutos	917,0				
	Madurez fisiológica	1.008,3				
<b>R<sup>2</sup></b>	Llenado de frutos	0,91				
	Madurez fisiológica	0,89				
<b>2017 (segundo año productivo)</b>						
<b>Amax</b>	Llenado de frutos	15,23	0,51	1,00	16,24	*
	Madurez fisiológica	10,90	0,61	9,69	12,11	
$\varphi$	Llenado de frutos	0,027	0,002	0,024	0,030	*
	Madurez fisiológica	0,017	0,002	0,014	0,020	
$\theta$	Llenado de frutos	0,92	0,039	0,847	1,002	ns
	Madurez fisiológica	0,96	0,045	0,869	1,045	
<b>Rd</b>	Llenado de frutos	0,64	0,12	0,88	0,41	*
	Madurez fisiológica	1,46	0,10	1,67	1,25	
<b>LCPT</b>	Llenado de frutos	22,1				
	Madurez fisiológica	61,4				
<b>LSP</b>	Llenado de frutos	854,9				
	Madurez fisiológica	815,5				
<b>R<sup>2</sup></b>	Llenado de frutos	0,97				
	Madurez fisiológica	0,91				

En almácigo se sembraron 21 accesiones de la Colección Núcleo de Germoplasma de café (CNG), en dos tipos de suelo, uno proveniente de Cubarral (Meta) y el otro de un lote de la Estación Experimental Naranjal (Caldas), que tenían pH 3,9 y 4,5, respectivamente. Las accesiones también fueron sembradas en estos suelos, pero con un pH corregido a 5,2 mediante encalamiento con cal dolomita. También se utilizó el genotipo 2007-10/143 que corresponde a una progenie avanzada del híbrido interespecífico entre *C. arabica* y *C. canephora*. Se incluyó en el experimento la Variedad Castillo® La Trinidad como variedad comercial de café.

El manejo agronómico del almácigo se hizo siguiendo las recomendaciones técnicas de Cenicafe. En plántulas de 6 meses de edad y para cada tipo de suelo, se obtuvieron los promedios de las variables de peso seco, altura y longitud de la raíz (Figuras 30 y 31). Para la selección de las accesiones tolerantes a la acidez del suelo se utilizaron los métodos de cuadrante e índice de tolerancia. En la metodología de cuadrantes se obtuvieron cuatro áreas en la Figura 32.

Los genotipos que caen en el cuadrante IV son los tolerantes a la acidez del suelo y los que tienen alto peso seco bajo condiciones de acidez. Los genotipos que caen en el cuadrante I no tienen tolerancia a la acidez ni alto peso seco. Los genotipos del cuadrante II poseen tolerancia a la acidez, pero bajo peso seco, y los del cuadrante III tienen alto peso seco,



**Figura 29.** Curvas (A/PAR) para la combinación de 15 genotipos de *C. arabica* en dos estados fenológicos del fruto, durante los años 2016 y 2017.

pero sensibilidad a la acidez. El índice de tolerancia se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de tolerancia} = \frac{\text{Peso seco sin cal}}{\text{Peso seco con cal}} \times \frac{\text{Peso seco sin cal}}{\text{Peso seco máximo sin cal}}$$

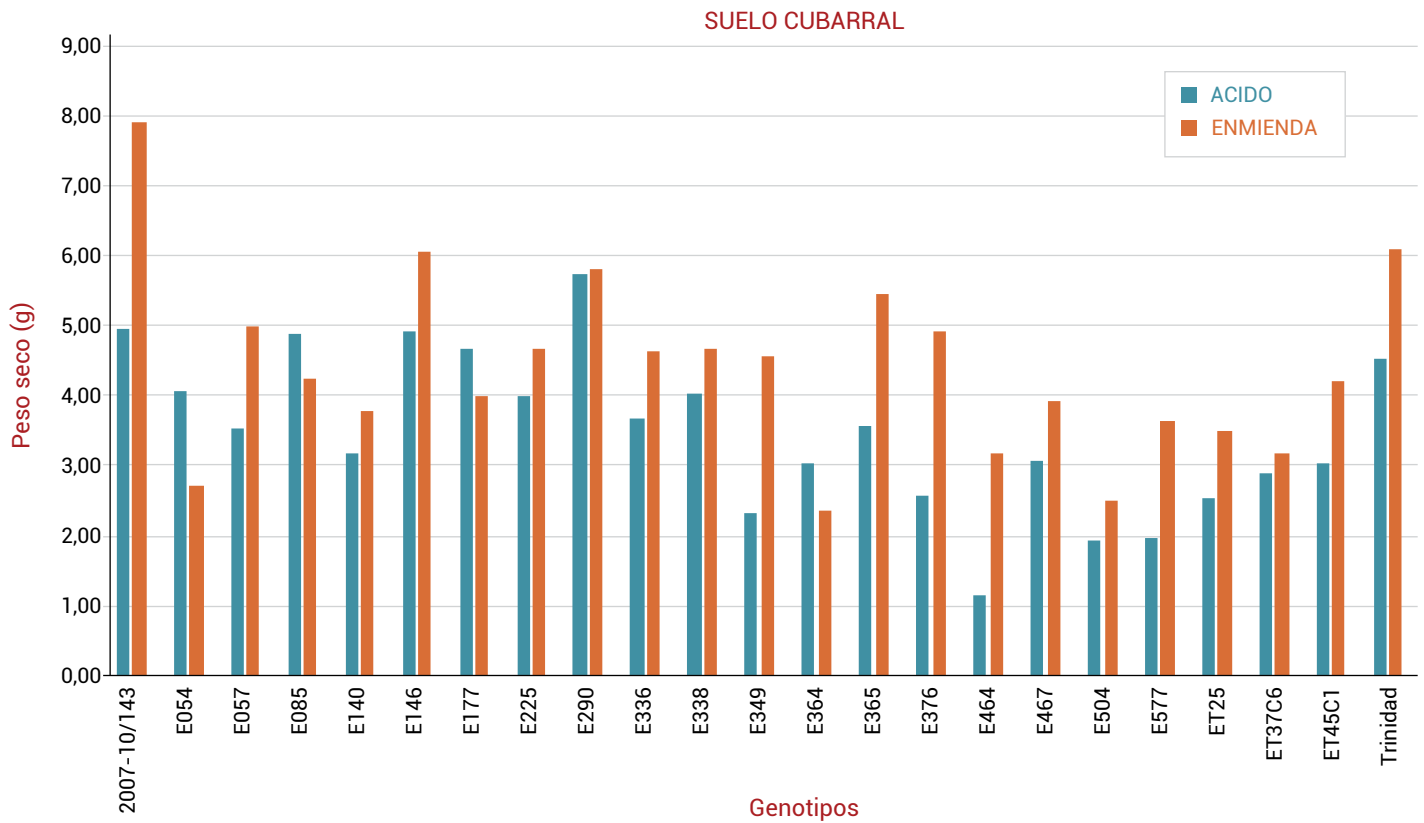
La accesión E290 fue seleccionada como tolerante a la acidez para el suelo de Cubarral, porque de acuerdo al método de cuadrantes, se encuentra en el cuadrante IV que corresponde a la tolerancia a la acidez y alto peso seco (Figura 32). Además, en una prueba de *t* mostró significancia estadística en el promedio del peso seco ( $t=3,34$ ;  $Pr > |t|$  0,0048), longitud de raíz ( $t=3,71$ ;  $Pr > |t|$  0,0023) y altura ( $t=5,63$ ;  $Pr > |t|$  0,0001), con un nivel de significancia del 95%, siendo el genotipo con los máximos promedios de estas variables y superando los promedios obtenidos para la Variedad Castillo® La Trinidad (Tabla 18). En cuanto al índice de tolerancia, la accesión E290 no mostró el máximo, pero estuvo entre los cuatro mejores y superó al de la Variedad Castillo® La Trinidad, en el doble (Tabla 19).

La accesión E177 fue seleccionada como tolerante a la acidez para el suelo de Naranjal, porque de acuerdo al método de cuadrantes, se encuentra en el cuadrante IV que corresponde a tolerancia a la acidez y alto peso seco (Figura 33). Además, en una prueba de *t* mostró significancia estadística en el promedio del peso seco ( $t=2,7$ ;  $Pr > |t|$  0,0182), longitud de raíz ( $t=2,45$ ;  $Pr > |t|$  0,0292) y altura ( $t=5,11$ ;  $Pr > |t|$  0,0002) con un nivel de significancia del 95%, siendo el genotipo con los máximos promedios de estas variables y superando los promedios obtenidos para la Variedad Castillo® La Trinidad (Tabla 20). En cuanto al índice de tolerancia, la accesión E290 no mostró el máximo índice de tolerancia, pero estuvo entre los tres mejores índices de tolerancia, superando al de la Variedad Castillo® La Trinidad (Tabla 21). De acuerdo a los análisis de estos resultados, la accesión E177 es común a los dos tipos de suelo, por lo que podría seleccionarse como candidato único muy promisorio para el progenitor de tolerancia a la acidez del suelo, en un programa de mejoramiento genético del café. En la segunda fase de esta investigación, se están evaluando otros

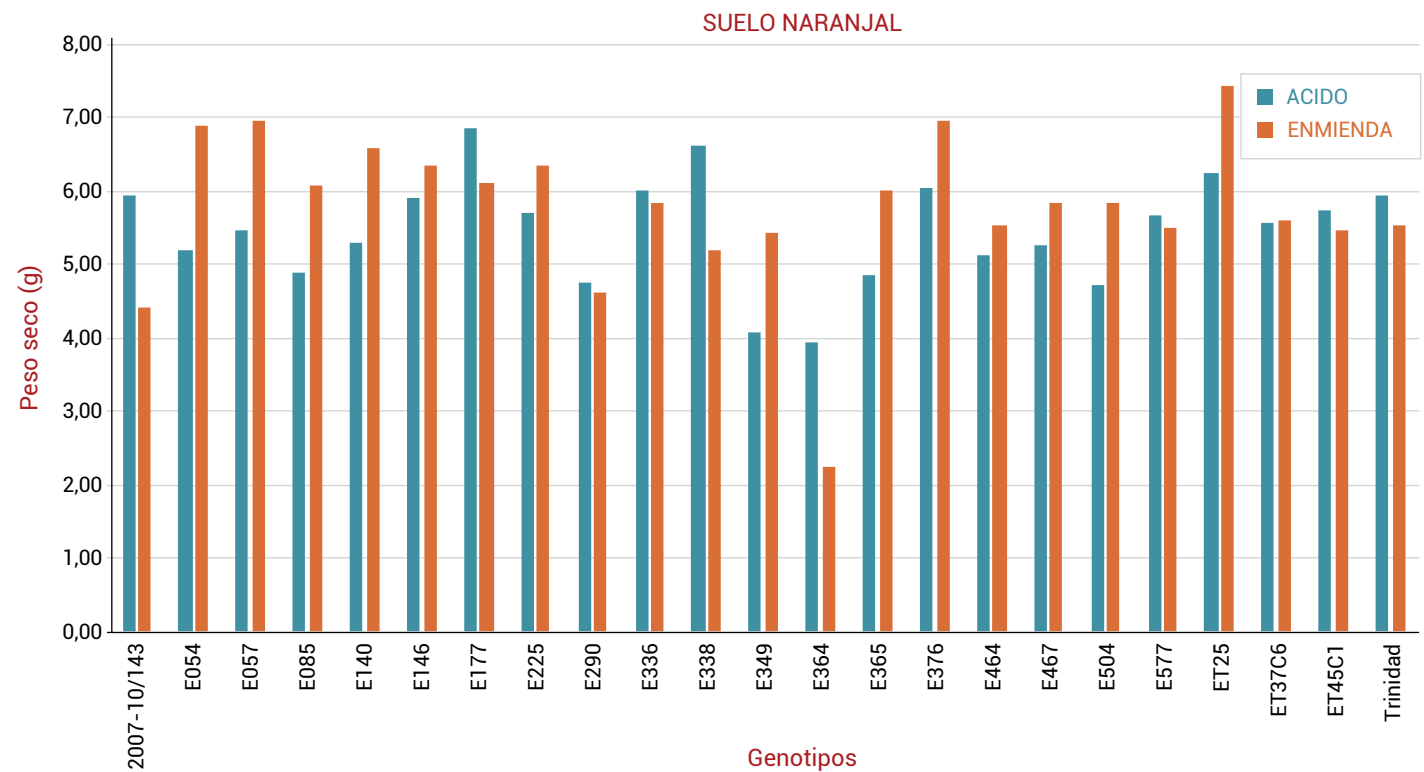
20 genotipos de la Colección Núcleo de Germoplasma con lo cual se espera tener otro(s) candidato(s) a progenitor(es).

### Evaluación del efecto de la eliminación de ramas no productivas sobre la producción de café.

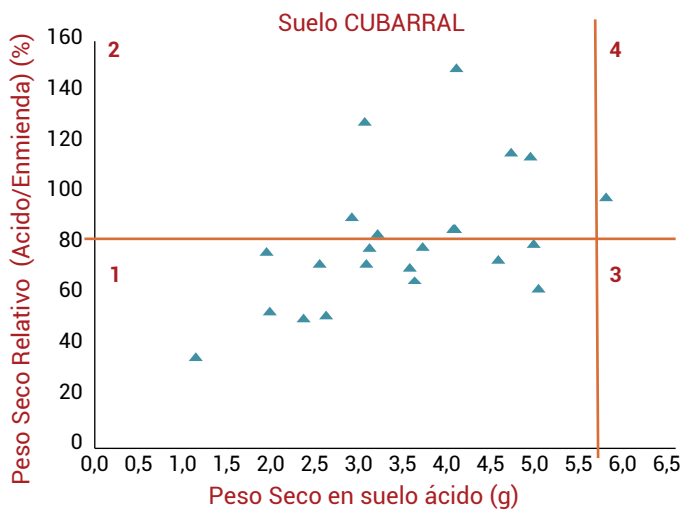
En Colombia, es común encontrar caficultores que realicen la práctica de eliminar las ramas improductivas del estrato inferior de las plantas "desbajere", para facilitar algunas prácticas propias del cultivo como la recolección de frutos caídos, manejo de broca, aplicación de fertilizantes, manejo de arvenses e incluso facilitar la recolección de los granos del estrato inferior al momento de la cosecha. Sin embargo, no se conoce con detalle cual es el efecto fisiológico que ocasiona la eliminación del área foliar en la producción y en las relaciones fuente demanda en la planta de café. Por tal motivo, se diseñó un experimento donde se evaluó el efecto de retirar el área foliar en ciertos porcentajes de ramas improductivas en plantas de diferentes edades, con miras a determinar cuál es su impacto en la producción de café cereza; además, la



**Figura 30.** Promedio del peso seco de los genotipos cultivados en suelo de Cubarral, con pH 3,9 (ácido) y suelo ajustado a pH 5,2 mediante encalado con cal (enmienda).



**Figura 31.** Promedio del peso seco de los genotipos cultivados en suelo de la Estación Experimental Naranjal con pH 4,5 (ácido) y suelo ajustado a pH 5,2 mediante encalado con cal (enmienda).



**Figura 32.** El modelo usado para indicar los genotipos de *Coffea arabica* tolerantes a la acidez del suelo de Cubarral y con alto potencial de producción de biomasa bajo estrés por acidez. El genotipo en el cuadrante IV corresponde al E290 (peso seco promedio 5,7; Peso Seco Relativo= 99%).

no existencia de materia prima para el ataque de la broca, en conjunto con una mejor área de trabajo para el recolector al no existir ramas que afecten su movimiento en el lote, apunte hacia un manejo más eficiente del cultivo.

El experimento se desarrolló en dos localidades; la primera localidad está ubicada en el municipio de Sevilla (Valle del Cauca) en la granja experimental La Sirena propiedad del Comité de Cafeteros del Valle del Cauca. En este sitio se seleccionó un lote que antes de la aplicación del tratamiento produjo su primera cosecha. La segunda localidad corresponde a la Estación Experimental La Catalina, ubicada en el municipio de Pereira (Risaralda). En este sitio se seleccionaron lotes

que antes de aplicar el tratamiento produjeron su segunda, tercera y cuarta cosecha. En las dos localidades y en todas las edades evaluadas, el material vegetal evaluado fue *Coffea arabica* L. Variedad Castillo® Naranja.

En los lotes de primera, tercera y cuarta cosechas, se conformaron dos parcelas, cada una con 90 árboles, las cuales se asignaron aleatoriamente para los tratamientos: eliminación de ramas que correspondan al 20% de área foliar de las ramas improductivas, ubicadas en el estrato bajo de la planta y la otra para el testigo absoluto, es decir, sin eliminación de ramas.

En el lote de segunda cosecha, se conformaron cuatro parcelas, cada una con 90 árboles, las cuales fueron asignadas a los siguientes tratamientos; eliminación de ramas que correspondan al 20% del área foliar; eliminación de ramas que correspondan al 40% del área foliar; eliminación de ramas que correspondan al 55% de área foliar; y el testigo absoluto (sin eliminación de ramas). A todos los árboles de la parcela se le eliminaron las ramas (de acuerdo con el tratamiento que le correspondió), inmediatamente finalizada la cosecha, es decir, para el lote de primera cosecha, se le eliminaron las ramas una vez recolectada la primera cosecha.

El análisis de la información se realizó para las cosechas de los años 2015 y 2016 por separado. También se realizó el análisis acumulando de la producción de los dos años. Del mismo modo, se comparó la producción de café cereza de la parcela tratada con su correspondiente testigo en cada edad de la planta. En la parcela que pasó segunda cosecha se compararon los diferentes niveles de

**Tabla 18.** Selección de genotipos tolerantes a la acidez del suelo de Cubarral. El asterisco representa significancia estadística de mediante una prueba *t*-student de comparación de las medias del peso seco, longitud de la raíz y altura, con un nivel de significancia del 95%.

Suelo Cubarral					
Genotipo	Cuadrante	Peso Total	Long Raíz	Altura	Índice Tolerancia
E290	4	5,73 *	35,19 *	41,65 *	0,98
E085	2	4,87 *	31,73 n.s.	35,86 *	0,97
E177	2	4,66 *	36,96 *	37,06 *	0,94
E054	2	4,04 n.s.	30,46 n.s.	33,42 *	1,05
La Trinidad	1	4,522 n.s.	32,99 n.s.	20,99	0,58

**Tabla 19.** Cálculo de los índices de tolerancia a la acidez, para cada uno de los genotipos cultivados en el suelo de Cubarral (pH 3,9 vs 5,2).

Suelo Cubarral			
Genotipo	Ácido/Enmienda	Ácido/Máx Ácido	Índice
2007-10/143	0,63	0,87	0,54
E054	1,50	0,71	1,06
E057	0,71	0,62	0,44
E085	1,15	0,85	0,97
E140	0,83	0,55	0,46
E146	0,81	0,86	0,70
E177	1,16	0,81	0,95
E225	0,86	0,70	0,60
E290	0,99	1,00	0,99
E336	0,79	0,64	0,51
E338	0,86	0,71	0,61
E349	0,51	0,41	0,21
E364	1,28	0,53	0,68
E365	0,66	0,63	0,41
E376	0,53	0,45	0,24
E464	0,36	0,20	0,07
E467	0,79	0,54	0,42
E504	0,77	0,34	0,26
E577	0,54	0,34	0,18
ET25	0,72	0,44	0,32
ET37C6	0,91	0,50	0,46
ET45C1	0,72	0,53	0,39
La Trinidad	0,74	0,79	0,59

eliminación del área foliar (20%, 40% y 55% del área foliar de las ramas improproductivas del estrato inferior) con la parcela testigo.

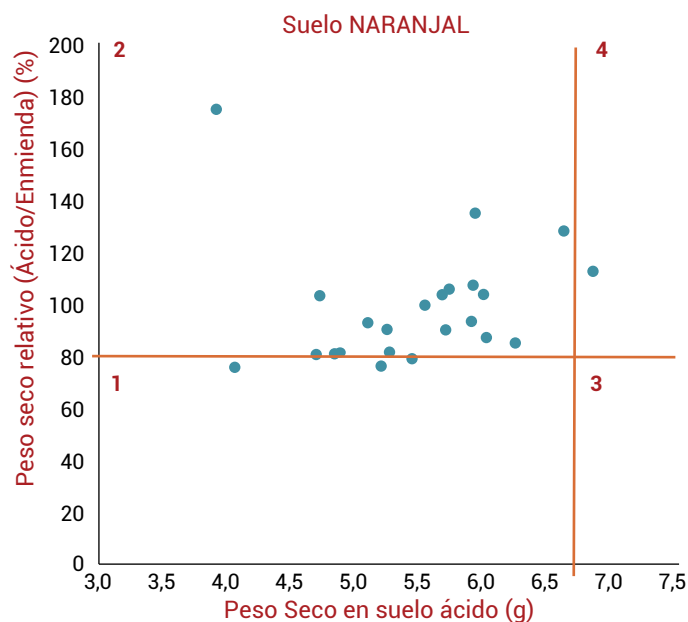
No hubo diferencias estadísticas entre la aplicación del tratamiento eliminación del 20% del área foliar y el testigo en alguna de las edades evaluadas durante el año 2015 (Figura 34), ni durante el año 2016 (Figura 35). En la parcela de dos años, donde se evaluaron niveles de poda más severos, tampoco hubo diferencias en términos de cantidad de café cereza en cada una de las dos

cosechas evaluadas ni en el valor acumulado (Figuras 34b y 36b). No se presentaron diferencias al hacer el acumulado de los dos años (Figura 36). Por su parte, el análisis a nivel de planta no permitió establecer diferencias estadísticas entre las cantidades de café cereza producido en alguno de los tratamientos en las edades evaluadas (Figura 36). Para el año 2016, solo se presentan datos de las parcelas de 1 y 2 años (Figura 35), debido a que las parcelas de 3 y 4 años fueron eliminadas debido a su crecimiento y a que completaron su ciclo productivo.

En la Tabla 22 se presenta la producción estimada por parcela a partir de los resultados de nueve árboles por cada tratamiento, comparada con la producción real obtenida en cada parcela experimental.

#### **Evaluación del efecto de inhibidores de etileno en la concentración de frutos maduros de café.**

En la Estación Experimental Paraguaicito se seleccionó un lote con café Variedad Castillo® de 36 meses, donde se realizaron dos evaluaciones (Primera: octubre - noviembre de 2016; Segunda: abril - mayo de 2017) con inhibidores de etileno. Los inhibidores (tratamientos) se aplicaron una semana antes de la cosecha principal y cuatro semanas después de la aplicación y luego se realizó la recolección de los frutos. Adicionalmente, se tuvieron dos testigos sin alguna aplicación: en el testigo relativo se realizaron dos recolecciones, en la segunda y en la cuarta semana después de la aplicación de los tratamientos; y en el testigo absoluto, la recolección solo se realizó en la cuarta semana.



**Figura 33.** El modelo usado para indicar los genotipos de *Coffea arabica* tolerantes a la acidez del suelo de Naranjal y con alto potencial de producción de biomasa bajo estrés por acidez. El genotipo en el cuadrante IV corresponde al E177 (peso seco promedio 6,9; Peso Seco Relativo= 112%).

En la primera evaluación, las variables producción de café cereza y porcentaje de frutos inmaduros no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla

23). La cantidad de frutos caídos en el testigo relativo fue significativamente menor, con aproximadamente la mitad de la cantidad encontrada en testigo absoluto. El resto de tratamientos no mostró diferencias en esta variable. El porcentaje de frutos maduros fue estadísticamente mayor en los tratamientos AVG (D3), AS (D1) y en el testigo relativo, con relación al testigo absoluto. Esta diferencia redujo el porcentaje de frutos sobremaduros entre 16% y 17%, con respecto a no aplicar un inhibidor de etileno (testigo absoluto) (Tabla 23).

En la segunda evaluación (Tabla 24), ninguno de los tratamientos presentó diferencias significativas respecto al testigo absoluto. La cantidad de frutos caídos indica que el desarrollo de los frutos fue mayor durante la segunda evaluación; esto se corrobora, al observar que el porcentaje de frutos sobremaduros en el testigo relativo, fue 18% mayor a lo obtenido por este testigo durante la primera evaluación. La alta precipitación registrada en la segunda evaluación (266 mm) y en el mes previo a ésta (204 mm), respecto a la primera evaluación (230 mm) y al mes previo (180 mm), sería la causa del mayor desarrollo observado. También es posible que con las lluvias parte de los tratamientos se haya lavado, disminuyendo su efecto.

**Tabla 20.** Selección de genotipos tolerantes a la acidez del suelo de Naranjal.

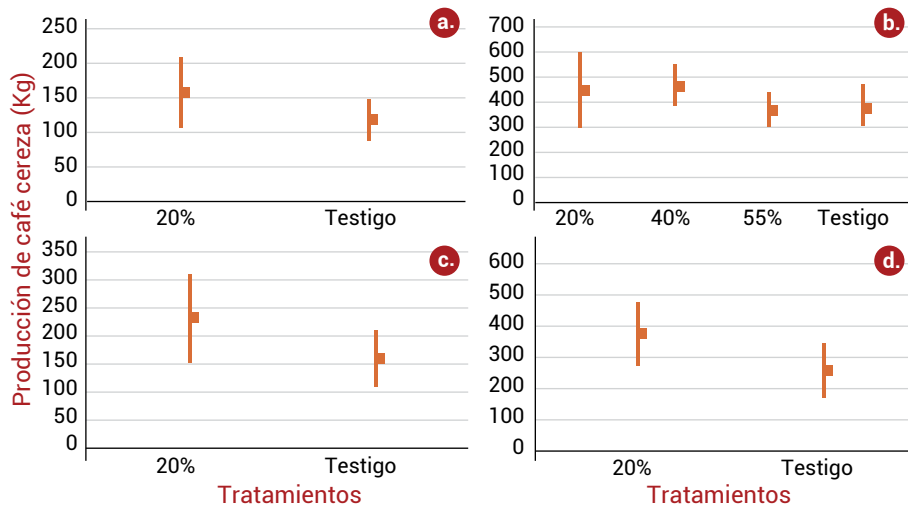
Suelo Naranjal					
Genotipo	Cuadrante	Peso Total	Long Raíz	Altura	Índice Tolerancia
E177	4	6,85 *	36,06 *	41,95 *	1,12
E338	2	6,62 n.s.	31,65 n.s.	34,91 n.s.	1,23
2007-10/143	2	5,93 n.s.	33,42 n.s.	30,18	1,16
Trinidad	2	5,92 n.s.	34,5 n.s.	28,08	0,92

\*Significancia estadística mediante una prueba t-student de comparación de las medias del peso seco, longitud de la raíz y altura, con un nivel de significancia del 95%.

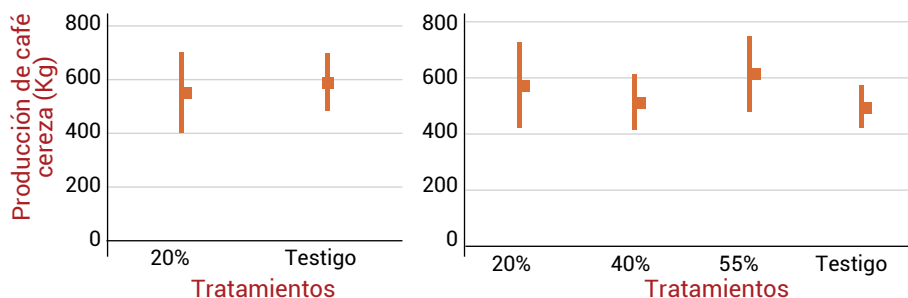


**Tabla 21.** Cálculo de los índices de tolerancia a la acidez para cada uno de los genotipos cultivados en el suelo de Naranjal (pH 4,5 vs 5,2).

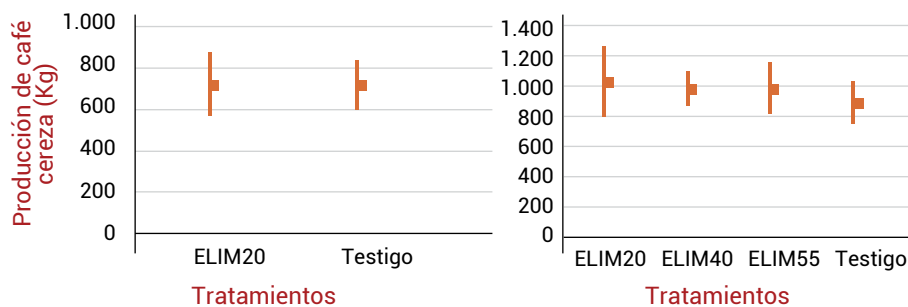
Suelo Naranjal			
Genotipo	Ácido/Enmienda	Ácido/Máx Ácido	Índice
2007-10/143	1,34	0,87	1,16
E054	0,76	0,76	0,57
E057	0,78	0,80	0,62
E085	0,81	0,71	0,58
E140	0,80	0,77	0,62
E146	0,93	0,86	0,80
E177	1,12	1,00	1,12
E225	0,90	0,83	0,75
E290	1,03	0,69	0,71
E336	1,03	0,88	0,90
E338	1,28	0,97	1,23
E349	0,75	0,59	0,45
E364	1,74	0,57	1,00
E365	0,80	0,71	0,57
E376	0,87	0,88	0,76
E464	0,92	0,74	0,69
E467	0,90	0,77	0,69
E504	0,81	0,69	0,55
E577	1,03	0,83	0,86
ET25	0,84	0,91	0,77
ET37C6	0,99	0,81	0,80
ET45C1	1,05	0,84	0,88
La Trinidad	1,07	0,86	0,92



**Figura 34.** Producción por parcela durante el año 2015. **a.** Lote de primera cosecha, **b.** Lote de segunda cosecha, **c.** Lote de tercera cosecha y **d.** Lote de quinta cosecha.



**Figura 35.** Producción por parcela durante el año 2016. **a.** Lote de primera cosecha; **b.** Lote de segunda cosecha.



**Figura 36.** Producción acumulada por parcela años 2015 y 2016. **a.** Lote de primera cosecha; **b.** Lote de segunda cosecha.

**Tabla 22.** Producción estimada para café Variedad Castillo® Naranjal a partir de la producción por planta, límites superior e inferior y producción por parcela.

Cosecha	Parcela	Producción estimada con la producción por planta	Límite superior	Límite inferior	Producción por parcela
1	20%	106,797	209,2199	106,7881	158,004
	Testigo	103,814	150,5631	88,90885	119,736
2	20%	427,031	603,0249	297,2811	450,153
	40%	427,4916	550,5309	382,0239	466,2774
	55%	402,453	436,6274	303,9466	370,287
	Testigo	413,037	470,3333	305,0707	387,702
3	20%	166,817	312,2412	156,4068	234,324
	Testigo	117,561	212,3282	111,1318	161,730
4	20%	311,295	477,2602	268,0118	372,636
	Testigo	262,835	347,2772	166,1368	256,707

**Tabla 23.** Testigos e inhibidores de etileno con sus respectivas dosis aplicadas a café Variedad Castillo®, durante la primera evaluación (octubre – noviembre 2016).

Tratamiento / Dosis	Producción c.c. (g)	Frutos caídos (g)	Peso de fruto (g)	Inmaduros (%)	Pintones (%)	Maduros (%)	Sobremaduro (%)
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D1)	4.260,8	553,0	1,97	1	7	26	66
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D2)	6.087,5	784,0	2,10	1	6	24	70
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D3)	5.308,3	582,7	2,08	1	5	25	70
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D1)	5.087,5	456,0	2,02	1	8	21	69
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D2)	7.029,2	646,3	2,01	1	6	18	76
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D3)	5.600,0	602,6	2,20	1	7	39*	53*
Ácido aminooxiacético (AOA) (D1)	6.179,2	640,4	2,11	1	8	31	61
Ácido aminooxiacético (AOA) (D2)	5.529,2	575,3	2,13	1	7	27	66
Ácido aminooxiacético (AOA) (D3)	5.946,0	647,1	1,95	1	5	28	66
Ácido salicílico (AS) (D1)	6.300,0	709,1	2,18	1	9	38*	54*
Ácido salicílico (AS) (D2)	6.566,7	662,8	2,11	1	8	28	63
Ácido salicílico (AS) (D3)	5.441,7	594,6	2,04	1	7	26	67
Testigo relativo: recolección tradicional	7.816,1	313,6*	2,10	1	15*	62*	22*
<b>Testigo absoluto: recolección única, sin tratamiento</b>	6.204,2	671,4	2,05	1	6	25	70
<b>ANDEVA (Pr &gt; F)</b>	0,228	0,0208	0,0324	0,3769	0,0001	0,0001	0,0001

\*: Diferencias significativas en la prueba de Dunnett (P < 0,05) respecto al testigo absoluto.

**Tabla 24.** Testigos e inhibidores de etileno con sus respectivas dosis aplicadas a café Variedad Castillo® durante la segunda evaluación (abril – mayo 2017).

Tratamiento / Dosis	Producción c.c. (g)	Frutos caídos (g)	Peso de fruto (g)	Inmaduros (%)	Pintones (%)	Maduros (%)	Sobremaduro (%)
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D1)	5.084,2	790,8	2,50	1	7	26	66
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D2)	4.610,8	892,5	2,37	1	6	24	70
Acetato de potasio (KCH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> ) (D3)	5.379,2	903,3	2,40	1	5	25	70
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D1)	4.035,8	895,8	2,42	1	8	21	69
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D2)	3.655,8	836,3	2,46	1	6	18	76
Aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) (D3)	3.591,7	702,5	2,44	1	7	39*	53*
Ácido aminooxiacético (AOA) (D1)	3.765,8	957,1	2,46	1	8	31	61
Ácido aminooxiacético (AOA) (D2)	3.852,5	720,0	2,50	1	7	27	66
Ácido aminooxiacético (AOA) (D3)	3.465,8	504,2	2,44	1	5	28	66
Ácido salicílico (AS) (D1)	4.329,2	1054,2	2,37	1	9	38*	54*
Ácido salicílico (AS) (D2)	4.612,5	1025,8	2,51	1	8	28	63
Ácido salicílico (AS) (D3)	4.204,2	699,2	2,30	1	7	26	67
Testigo relativo: recolección tradicional	5.877,5	618,8	2,35	1	11*	49*	40*
<b>Testigo absoluto: recolección única, sin tratamiento</b>	4.569,2	972,1	2,55	1	5	16	79
<b>ANDEVA (Pr &gt; F)</b>	0,0437	0,1420	0,3505	0,7825	0,0001	0,0001	0,0001

\*: Diferencias significativas en la prueba de Dunnett (P < 0,05) respecto al testigo absoluto.



### Evaluación y monitoreo de la roya

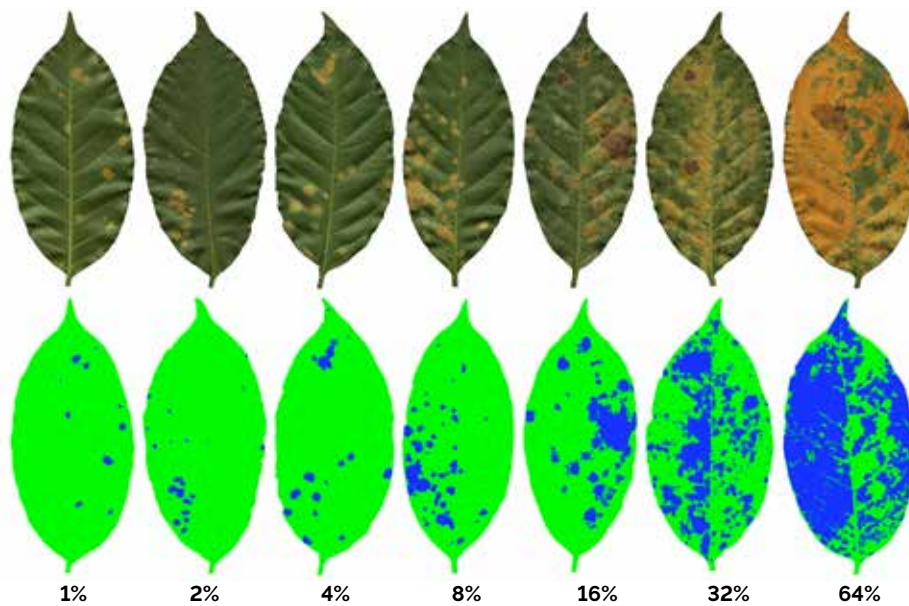
#### Desarrollo y validación de diagramas de área estándar para la cuantificación de severidad de roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.).

La roya del café continúa siendo una de las enfermedades más limitantes en la producción de café en el mundo, debido a los daños y la disminución del área fotosintética en variedades susceptibles, causando reducción significativa tanto en la cantidad como en la calidad de la producción. Para el estudio de la epidemiología de una enfermedad y el establecimiento de programas de monitoreo y manejo, la evaluación de la incidencia y la severidad son requisitos fundamentales. En este proyecto, se desarrollaron y validaron dos Diagramas de Área Estándar (DAE) para estimar la severidad de la roya en condición natural (Figura 37) e inoculada (Figura 38) sobre plantas de café. Cada DAE estuvo compuesto por siete imágenes de hojas con distintos porcentajes de área afectada (1%, 2%, 4%, 8%, 16%, 32% y 64%). Los diagramas se validaron por 20 individuos divididos en dos

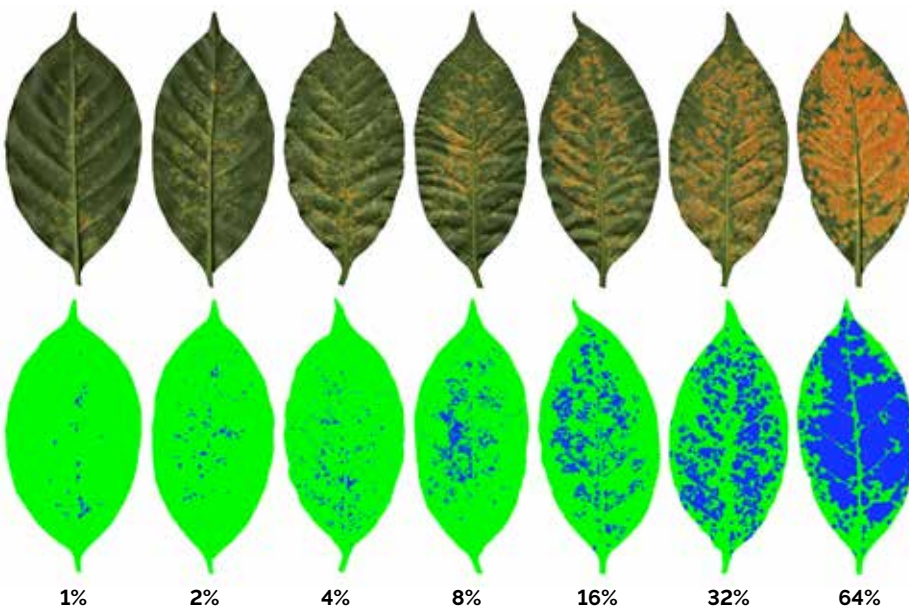
grupos iguales de evaluadores inexpertos y experimentados, de acuerdo con su conocimiento en la cuantificación de enfermedad, primero sin la ayuda de los DAE, y luego, con la ayuda de los DAE propuestos y otros descritos en la literatura para la estimación visual de la severidad de la roya. Los análisis del coeficiente de correlación y concordancia de Lin de la severidad actual de roya en estado natural versus la estimada por medio del DAE propuesto, presentaron un 2,7% y 1,7% de sobrestimación en evaluadores tanto inexpertos como expertos, respectivamente, versus un 24,0% y 7,6% cuando no es empleado algún tipo de diagrama para la estimación visual de la severidad de la enfermedad, en evaluadores tanto inexpertos como expertos. En cuanto a la confiabilidad de los datos, el nuevo DAE propuesto obtuvo el mayor número de frecuencias en el rango de determinación más alto (0,9 – 1,0), con un 92,1% de todas las combinaciones posibles de evaluadores expertos e inexpertos en pares. En tanto, para la estimación de severidad actual de roya inoculada versus la estimada por medio del DAE propuesto, presentaron un 1,59% y 5,24% de

sobrestimación en evaluadores tanto inexpertos como expertos, respectivamente, versus un 24,0% y 7,6% cuando no es empleado algún tipo de diagrama para la estimación visual de la severidad de la enfermedad, en evaluadores tanto inexpertos como expertos. En cuanto a la confiabilidad de los datos, el nuevo DAE propuesto para roya inoculada obtuvo el mayor número de frecuencias en el rango de determinación más alto (0,9 – 1,0), con un 50,5% de todas las combinaciones posibles de evaluadores expertos e inexpertos en pares. Ambos diagramas mejoran significativamente la capacidad de los individuos en la precisión, exactitud y confiabilidad de las estimaciones de severidad de roya en estado natural e inoculada, que una vez realizado el entrenamiento, pueden ser empleados en procesos experimentales y de monitoreo que involucren un análisis cuantitativo de la enfermedad.

**Fortalecimiento de los sistemas de alertas para problemas fitosanitarios y fenología de la planta de café. Componente Disciplina de Fitopatología. Proyecto SGR Huila.** Con el propósito de diseñar un



**Figura 37.** Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya (*H. vastatrix*) sobre hojas de café en condiciones naturales. Para facilitar su lectura y evaluación, las imágenes en la parte superior del diagrama representan lesiones reales por la enfermedad, las imágenes en la parte inferior representan las lesiones vectorizadas. Los números representan el porcentaje real del tejido afectado por la enfermedad.



**Figura 38.** Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya (*H. vastatrix*) sobre hojas de café inoculadas con el patógeno. Para facilitar su lectura y evaluación, las imágenes en la parte superior del diagrama representan lesiones reales por la enfermedad, las imágenes en la parte inferior representan las lesiones vectorizadas. Los números representan el porcentaje real del tejido afectado por la enfermedad.

sistema de alertas tempranas como herramienta para la toma de decisiones basados en el monitoreo de clima y la fenología de las plantas, y validar

prácticas de manejo integrado de enfermedades en una zona cafetera del departamento del Huila, se realizó una evaluación periódica durante los meses

de enero de 2016 a septiembre de 2017, de dos parcelas de monitoreo de enfermedades por localidad, diferenciadas por variedades altamente susceptibles a la roya del cafeto (var. Caturra) y una variedad con resistencia incompleta (Variedad Castillo®). Cada par de parcelas se encuentra ubicado en cuatro localidades, cada 200 m de altitud, desde los 1.200 hasta los 2.000 m en los municipios de La Plata y Pitalito. Sobre cada parcela, se evaluaron 60 árboles seleccionados de acuerdo con un plan de muestreo sistemático (1/K), y en cada uno de ellos se registró el porcentaje de incidencia de las enfermedades encontradas. Posteriormente, se establecieron relaciones con variables climáticas de estaciones meteorológicas automáticas, ubicadas en cada una de estas altitudes para determinar patrones de favorabilidad climática a la enfermedad conocidos como Índices Compuestos de Infección por enfermedades (ICIR), y por ende, la generación de una alerta ante un inminente desarrollo epidémico. Por último, en las parcelas de validación se está comparando y demostrando el uso adecuado del manejo integrado de enfermedades de importancia económica.

El diagnóstico inicial de enfermedades indicó una alta incidencia de la roya del cafeto en ambos municipios y todas sus localidades, donde Pitalito registró un 71,4% de incidencia a una altitud de 1.400 m en el mes de agosto de 2016 y en La Plata un 58,9% a 1.600 m en el mes de septiembre. Sin embargo, análisis posteriores indicaron que no existieron diferencias significativas entre los perfiles evaluados, encontrándose una misma

variabilidad en la incidencia de la enfermedad desde los 1.200 hasta los 1.800 m en cada uno de los sitios. Por otro lado, el análisis de favorabilidad climática indicó un total de tres alertas para cada municipio, siendo dos de ellas en el período 2017. Se identificaron alertas en abril y junio para Pitalito (Figura 39), frente a los meses de marzo y mayo para La Plata (Figura 40), lo cual explica el retraso de 30 días en el desarrollo de la epidemia de roya en Pitalito frente a lo presentado en La Plata y su relación con los cambios de fecha en la floración principal para esta localidad.

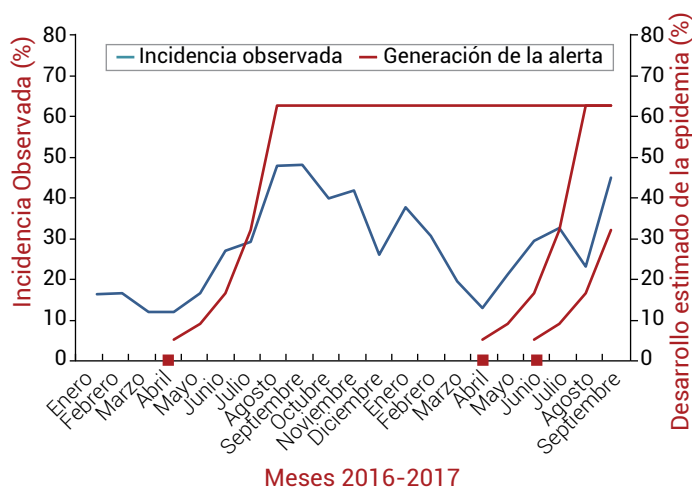
Finalmente, se diseñaron las estrategias de manejo integrado de roya para las parcelas de validación, con base en los registros de floración principal, los cuales se desplazaron de la tercera semana de abril y la primera de junio a la tercera semana de mayo y la primera de julio, resultado de las condiciones climáticas dadas en el lugar de evaluación. Se evidencia que los factores climáticos juegan un papel muy importante en la dinámica tanto de la enfermedad como en los registros de floración, los cuales son fundamentales en los ajustes de los planes y criterios de manejo de enfermedades en cada región.

### Caracterización y monitoreo de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.).

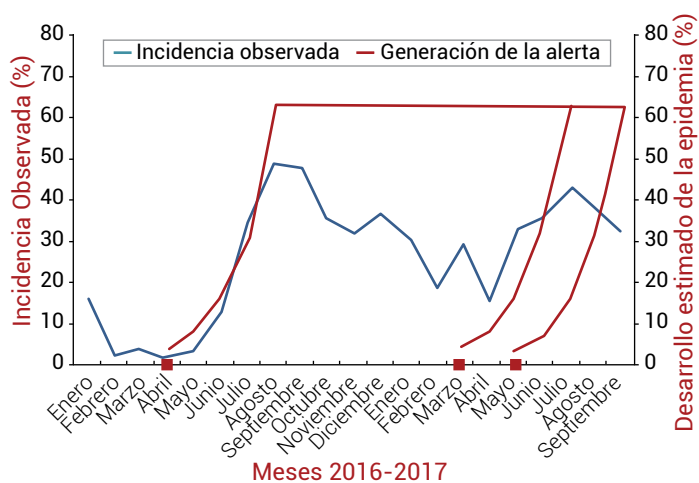
Desde su llegada a Colombia en septiembre de 1983, la roya del cafeto ha iniciado en el país un proceso biológico, normal y dinámico de adaptación y coevolución con las variedades de café sembradas en el país, tanto comercial como experimentalmente. Para tratar de entender este proceso, desde el año 1995 se está evaluando la incidencia de la roya del cafeto mediante la escala de Eskes-Toma-Braghini, para el árbol completo, en 125 genotipos experimentales de café derivados de cruzamientos de Caturra por Híbrido de Timor, con diferente segregación para la roya; además de 52 materiales del Híbrido de Timor y cinco diferenciales del CIFC en Portugal. Colombia ha desarrollado su estrategia de resistencia a partir de materiales del Híbrido de Timor 1343 como padre de las variedades Colombia, Variedad Castillo® y Cenicafé1, con resistencia completa e incompleta a la roya y tolerancia a CBD. Al año 2017, se han actualizado los registros que desde el año 2006 se toman en La Catalina (Pereira, Risaralda), Paraguaicito (Buenavista, Quindío), La Trinidad (Libano, Tolima), Naranjal (Chinchiná, Caldas) y Cenicafé-La Granja (Manizales, Caldas). El avance de la infección continúa en casi todos los materiales, indicando

el proceso de coevolución y surgimiento de nuevas razas o aislamientos locales del patógeno, capaces de vencer la resistencia de plantas que no eran infectadas inicialmente.

Los diferenciales del CIFC indican la existencia de nuevas razas en diferentes localidades. Las condiciones climáticas de cada localidad están influenciando de forma importante la dinámica de la enfermedad en estos materiales, donde los aislamientos o razas de roya varían en su estabilidad, adaptación y agresividad. Algunas de estas plantas han muerto. Las desviaciones en los promedios históricos de las temperaturas máxima y mínima hacia el calentamiento, menor



**Figura 39.** Generación de la alerta a partir del ICIR y su relación con la curva de progreso de la enfermedad (roya del cafeto), en la localidad de Pitalito (Huila), comprendida entre enero de 2016 y septiembre de 2017.



**Figura 40.** Generación de la alerta a partir del ICIR y su relación con la curva de progreso de la enfermedad (roya del cafeto), en la localidad de La Plata (Huila), comprendida entre enero de 2016 y septiembre de 2017.

número de horas de brillo solar y alta variabilidad en la precipitación promedio son aspectos que se evidencian, especialmente en la última década, lo cual acentuó la epidemia de roya a partir del año 2008 y el establecimiento de estas razas en los años recientes.

El porcentaje de materiales que exhiben mayores niveles de incidencia en la resistencia incompleta (grados 5 al 9 de la escala) continúa aumentando, y en el 2017 fue de 82% para Cenicafé-La Granja, 68% en El Rosario, 58% en La Catalina, 52% en Paraguaicito y 38% en La Trinidad. En los materiales del Híbrido de Timor en Naranjal, sigue incrementándose la incidencia de la roya del cafeto, donde el 26% no se registró roya, el 42% presentó alta resistencia incompleta (grados 1 al 4), y el 15% mostró resistencia incompleta baja y susceptibilidad (grados 5 al 9). Estos resultados indican que aún existen fuentes de resistencia en el Híbrido de Timor, pero fortalecen aún más la decisión de la FNC y Cenicafé de utilizar en su programa de mejoramiento genético otras fuentes de resistencia existentes en el germoplasma de la Colección Colombiana de Café, siendo este material estratégico para la sostenibilidad de la caficultura de Colombia al futuro.

Con el propósito de realizar una evaluación técnica del comportamiento de la roya en los componentes de las variedades resistentes desarrolladas por FNC – Cenicafé y proveer elementos para el monitoreo, toma de decisiones respecto a la coevolución del patógeno, manejo y composición de las variedades a futuro, se realizaron evaluaciones cuantitativas de incidencia y severidad de roya en diferentes Estaciones Experimentales de Cenicafé. Se evaluaron campos de producción de semilla y donde se encuentran plantadas de forma individual los genotipos componentes de las Variedades Castillo® general y sus regionales y de la variedad Cenicafé 1. En la vigencia 2016 – 2017 se realizaron cuatro evaluaciones de incidencia y severidad. Se han evaluado todos estos materiales tres veces al año, en abril a mayo, agosto a septiembre y en diciembre de cada año, con el fin de cubrir la dinámica de la enfermedad en las diferentes regiones del país y etapas fenológicas del cultivo, y considerando los patrones de distribución de cosecha, dado que la roya está íntimamente relacionada con la fisiología de la planta, la edad y la producción de café, además de las interacciones genotipo por ambiente en cada localidad.

**Evaluaciones Diagnóstico Nacionales.** En los diagnósticos fitosanitarios nacionales realizados por el Servicio de Extensión de la FNC, con el apoyo de Cenicafé y sus Disciplinas de Biometría, Entomología, Suelos y Fitopatología, se han analizado los informes estadísticos con base en más de 5.000 lotes seleccionados y evaluados, y se han entregado las recomendaciones para el Servicio de Extensión y los caficultores. Se ha considerado el comportamiento del clima en cada región, la distribución de las floraciones y, por ende, las épocas de cosecha. Durante el año 2017, en algunos departamentos se registró un alto número de lotes defoliados (menos de 10 hojas por rama en promedio), que puede ser atribuido a diversos factores, entre ellos la época de cosecha para el Centro Sur y Sur del país, aspectos nutricionales y fisiológicos, déficit hídrico, manejo e incidencia de enfermedades

como roya, gotera y mancha de hierro, entre otros aspectos, que deben revisarse distrito por distrito, en cada uno de estos departamentos.

Al analizar los promedios de incidencia de la roya para aquellos departamentos con más de un 5% de lotes evaluados sembrados con variedades susceptibles, han sobresalido los departamentos de Huila, Quindío, Nariño, Caquetá, Caldas, La Guajira y Valle del Cauca, con promedios que superan el 10% de incidencia de roya e incluso se aproximan al 25% como es el caso de Huila y Nariño. Para algunos de estos departamentos, se han recomendado los ajustes del inicio de control, con base en las floraciones principales y que se revise muy bien la oportunidad y calidad de la labor, el tipo de fungicidas aplicados y mantener cuidado con los períodos de carencia para evitar contaminación en los granos. El control de la roya debe hacerse hasta los 6 meses (180 días) después de la floración principal dependiendo del producto y plan de manejo. La incidencia de la roya aumenta siguiendo la fisiología de la planta cuando se acerca a la cosecha, y el comportamiento del clima que es favorable para la enfermedad, por lo tanto, requiere su manejo oportuno.

De igual forma, este año 2017 se hizo énfasis en el manejo agronómico y la recuperación del follaje de los cultivos mediante fertilización con base en análisis de suelos y las épocas oportunas. En cuanto a la incidencia de roya en variedades susceptibles, el promedio nacional en julio de 2017 estaba cercano al 19%, el cual es alto y



requiere medidas de manejo químico; mientras que para las variedades resistentes, todos los departamentos se encontraban por debajo del 2%, excepto cuatro de ellos que superaron el 5%; por lo tanto, hay que analizar la variedad y el origen trazable del material usado para la siembra de estos cultivos, además de un adecuado manejo agronómico.

Las evaluaciones diagnóstico nacionales también han permitido conocer el estado actual de las enfermedades de gotera u ojo de gallo, donde se registraron altas incidencias y epidemias recurrentes en zonas endémicas, en algunos departamentos de la vertiente Oriental de la cordillera Oriental y Piedemonte Llanero, como Caquetá, Meta, Casanare, Boyacá, La Guajira, Norte de Santander y algunas zonas de Cundinamarca, además de algunas zonas en Nariño y Cauca, en el Sur del país. Debe realizarse un manejo integrado del cultivo con el fin de reducir condiciones que favorecen esta enfermedad, realizando manejo de arvenses, adecuación de drenajes, fertilización y de requerirse, realizar el plan de manejo químico. Deben tenerse en cuenta cuáles fueron los distritos o zonas y lotes más afectados en la epidemia anterior, con el fin de planear acciones preventivas y preparar los cultivos al finalizar la época seca, de tal forma que no sean de nuevo afectados severamente por la enfermedad en la siguiente epidemia.

En cuanto al mal rosado, los promedios generales de árboles afectados por departamento no superan el 2%; aunque en 13 de los departamentos se registraron lotes con incidencias superiores al 10% de árboles con ramas

afectadas, lo cual indicaría necesidad de prácticas de manejo integrado y manejo de los focos de infección, mediante podas de ramas afectadas, su retiro del lote y su destrucción.

### Alternativas de manejo químico de enfermedades

#### **Efecto del fungicida flutriafol + azoxystrobin en el control de la roya del cafeto, mancha de hierro y mal rosado en plantas de la variedad Caturra.**

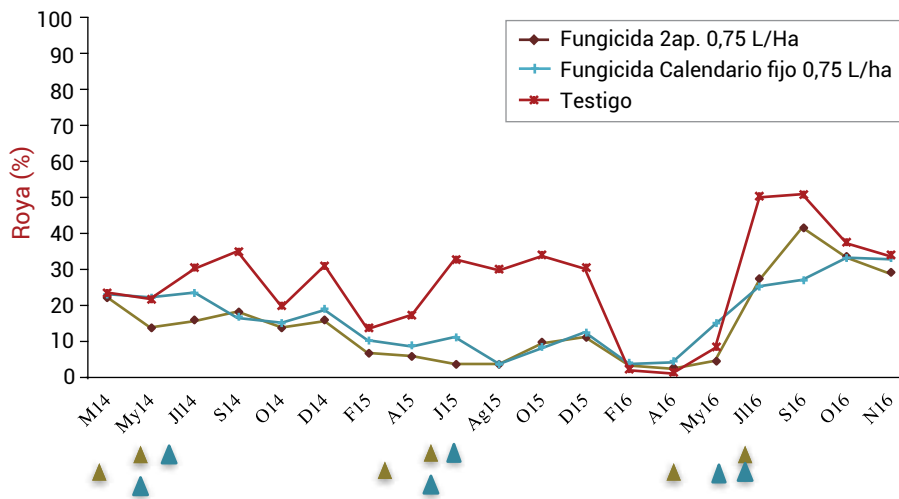
Con el objetivo de investigar sobre nuevas alternativas para el manejo integrado de la roya en Colombia, se realizó un experimento con el fungicida flutriafol + azoxystrobin; ( $125 \text{ g.L}^{-1} + 125 \text{ g.L}^{-1}$ ) aplicado al follaje de plantas de café variedad Caturra, sembradas a  $1,00 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$  entre plantas y calles de  $1,50 \text{ m}$  en surcos dobles, durante los años 2014 al 2016, en un lote a una altitud de  $1.250 \text{ m}$  en Palestina (Caldas). En los tres años del estudio, se observaron diferencias estadísticas significativas a favor del control de la roya con el fungicida, obteniendo bajos niveles de infección, menor severidad y mayor retención de follaje. En el año 2014 no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en la producción de café cereza, mientras que en el 2015 y 2016 y en el acumulado de las tres cosechas sí se encontraron diferencias significativas en la producción a favor de las plantas tratadas versus el testigo absoluto sin aplicación de fungicidas. Las pérdidas en producción por efecto de la roya en el testigo sin aplicación ascendieron al 29%. Con relación al crecimiento y desarrollo de las plantas, en los primeros dos años no se apreciaron diferencias

estadísticas significativas; sin embargo, al final del experimento, las plantas de los tratamientos que tuvieron el mayor control de la roya tuvieron los mayores crecimientos, pero es difícil separar estos efectos debidos al adecuado control del patógeno de los obtenidos por la aplicación y acción de sustancias anti-estrés en esas mismas plantas.

En cuanto a las enfermedades de mal rosado y mancha de hierro, su incidencia fue esporádica y muy baja, lo cual no permitió evaluar objetivamente el efecto de los tratamientos sobre ellas. Con base en estos resultados, el inicio del control de la roya en variedades susceptibles no dependerá de una fecha fija, sino que podrá ajustarse a partir de un criterio flexible acorde con la fisiología y fenología de las plantas y su floración principal. Según este criterio, el fungicida evaluado puede ser incorporado al manejo integrado de la roya del cafeto en Colombia, aplicándolo ya sea dentro del calendario fijo desarrollado por la FNC y Cenicafé o con el criterio de los 60 y 120 días después de floración principal, empleando una dosis de  $0,75 \text{ L.ha}^{-1}$  de producto comercial (Figura 41).

#### **Efecto del fungicida flutriafol + imidacloprid en el control de la roya del cafeto, mancha de hierro y mal rosado en plantas de variedad Caturra.**

Esta investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Naranjal ubicada en Chinchiná (Caldas), a una altitud de  $1.350 \text{ m}$ . En este experimento se emplearon zocas de la variedad Caturra, intervenidas en el mes de septiembre de 2013. Se



**Figura 41.** Curvas de progreso de la roya del café en las ramas principales de plantas tratadas con flutriafol + imidacloprid, dos aplicaciones a los 60 y 120 días después de floración (0,75 L.ha<sup>-1</sup> de producto comercial) y en plantas tratadas con ese mismo fungicida empleando el sistema de calendario fijo de la FNC-Cenicafé, comparadas con la curva de progreso de la enfermedad en las plantas no tratadas (testigo absoluto), evaluadas entre marzo de 2014 y noviembre de 2016. Los triángulos indican los momentos de las aplicaciones para cada tratamiento.

trató de un sistema agroforestal donde las plantas de café estuvieron bajo el sombrío de cuatro especies de árboles nativos que correspondieron a dos tipos de guamos, cámbulos y carboneros, sembrados a distancias que estaban interceptando el 30% de la radiación. El café se sembró a cuatro distancias de siembra: 1,05 x 2,10 m; 1,18 x 1,18 m; 1,35 x 1,35 m y 1,65 x 1,65 m, en un lote de topografía plana. Los tratamientos estuvieron en función de dos sistemas de aplicación que fueron la floración principal y el calendario fijo de FNC para control de la roya para la cosecha principal, en el segundo semestre del año.

Se evaluaron dosis del producto flutriafol + imidacloprid y diferente número de aplicaciones. En los años 2014-2016 no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, ni de éstos con el testigo absoluto sin aplicación de fungicidas, en las variables de

crecimiento y desarrollo de las plantas. Bajo esta circunstancia no puede afirmarse que haya existido una estimulación del crecimiento y desarrollo de las plantas al ser tratadas con el fungicida. En el año 2015, todos los tratamientos aplicados de acuerdo con la época de floración principal presentaron una menor incidencia de la roya al ser comparados con los tratamientos por calendario fijo. En el año 2016, entre marzo y julio, los niveles de roya aumentaron de forma acelerada, llegando a una incidencia promedio del 75% en todos los tratamientos, incluido el testigo absoluto. Ese valor se mantuvo durante los meses de julio, septiembre y octubre de 2016, produciendo una temprana y alta defoliación, presentándose paloteo en las plantas de varias parcelas experimentales. Lo anterior significa que el control de la roya, en este segundo año de experimentación, no fue eficiente para los tratamientos. En el año 2015, fue escasa la cosecha de café debido

a la edad de las plantas, sin registrarse diferencias estadísticas significativas en producción entre tratamientos. Tampoco se presentaron diferencias en el año 2016, donde fue muy deficiente el control de la roya con el fungicida aplicado al suelo. Los resultados indican que este producto podría ser dependiente del nivel de humedad en el suelo para ser absorbido, condición que no siempre va a coincidir con la época adecuada para su aplicación, más si se trata de épocas de ocurrencia del evento de El Niño. Por lo tanto, no se llegó a resultados consistentes ni a conclusiones que permitieran incluir a este fungicida dentro de las recomendaciones para el manejo integrado de estas tres enfermedades en el cultivo del café.

**Efecto del flutriafol + imidacloprid en plantas de la Variedad Castillo® Pueblo Bello, en el control de la mancha de hierro y mal rosado y su efecto sobre el vigor y la producción de esas plantas.** Con el objetivo de evaluar alternativas para el manejo de las enfermedades de la mancha de hierro y el mal rosado y determinar si hay efectos del fungicida flutriafol + imidacloprid sobre el vigor, crecimiento y producción de las plantas, se llevó a cabo esta investigación en la Estación Experimental Paraguaicito ubicada en Buenavista (Quindío), a una altitud de 1.250 m. Se evaluaron dos sistemas de aplicación: calendario fijo para cosecha en los dos semestres del año y floración principal, empleando dosis de 2,0 y 1,5 L.ha<sup>-1</sup> del producto comercial flutriafol + imidacloprid. El experimento se realizó con plantas de la Variedad Castillo®

Pueblo Bello, sembradas a una distancia 0,90 x 1,60 m en una topografía plana. Los tratamientos se diseñaron en función de la floración principal del primer y segundo semestre del año por tratarse de una zona donde la cosecha de café es repartida en los dos semestres del año. Se evaluaron dosis del producto flutriafol + imidacloprid y diferente número de aplicaciones, y se tuvo un testigo de referencia que fue un producto comercial previamente validado y publicado, para aplicaciones al suelo basado en tiametoxam + cyproconazol (300 g.L<sup>-1</sup> + 300 g.L<sup>-1</sup>), y un testigo absoluto sin alguna aplicación de productos. El sistema de aplicación del producto evaluado fue en "drench" al tallo del árbol, el cual debía estar libre de arvenses y con una humedad a capacidad de campo (50%). En todos los tratamientos, el volumen de aplicación por planta fue de 50 mL, 25 mL a cada lado del tallo. Los resultados de esta investigación mostraron que no hubo efecto de las aplicaciones de este producto sobre el crecimiento de las plantas y el vigor de las mismas. La incidencia de las enfermedades mancha de hierro y mal rosado fue baja, a lo largo de todo el experimento, razón por la cual no pudo apreciarse el efecto del control del producto evaluado sobre esas dos enfermedades.

Los registros de producción mostraron un alto rendimiento en la producción de café cereza en todos los tratamientos, sin diferencias estadísticas significativas entre las parcelas que fueron tratadas con este producto y las parcelas de los testigos de referencia comercial y el absoluto, sin alguna aplicación. Debido a la ausencia de diferencias

estadísticas significativas en las variables de crecimiento y producción entre los diferentes tratamientos, no fue posible determinar el efecto "VCP" consistente en el crecimiento y desarrollo de las plantas de la Variedad Castillo® Pueblo Bello utilizadas en este experimento. Por lo tanto, no fue posible llegar a conclusiones que permitan recomendar este producto para ser aplicado sobre variedades susceptibles o resistentes para el control de mancha de hierro y mal rosado, o que mejore de alguna manera la producción de café.

**Control de la roya del cafeto y la mancha de hierro con el fungicida triadimenol.** Se estableció un experimento en marzo de 2014, en un lote comercial de café variedad Caturra a libre exposición, sembrado a 1,20 m x 1,40 m entre plantas, ubicado a 1.350 m de altitud en el municipio de Quimbaya (Quindío). En este estudio se está empleando el fungicida triadimenol, asperjado en dosis de 1 L.ha<sup>-1</sup> sobre el follaje de las plantas, siguiendo un calendario fijo de manejo de la roya diseñado por la FNC-Cenicafé, aplicando en los dos semestres del año y comparado con el criterio de ajuste con base en la floración principal. El testigo de referencia es el fungicida cyproconazole en dosis de 250 mL.ha<sup>-1</sup>. El análisis estadístico para las variables altura de las plantas, diámetro del tallo, número de cruces y ramas primarias mostró que no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre las plantas testigo, sin aplicación de fungicidas, con respecto a los tratamientos con fungicidas, y no se observaron diferencias entre

los dos criterios de aplicación. Este experimento que se realiza en una región donde la cosecha se distribuye en los dos semestres del año, también registra dos picos de la enfermedad, donde la roya ha venido mostrando comportamiento diferente año tras año.

En el año 2015 el control fue deficiente, mientras que en el 2016, especialmente en el segundo semestre, las plantas del testigo absoluto fueron las que tuvieron los mayores niveles de roya con diferencias estadísticas con respecto a las tratadas; es decir, hubo control de la enfermedad. En este último año 2016- 2017 no han sido altos los niveles de infección por roya en las plantas no tratadas (el máximo valor fue del 38% en diciembre de 2016), y donde se obtuvo control de la enfermedad con los fungicidas. La incidencia y severidad de la roya han mostrado su alta asociación para una variedad susceptible, e igualmente la alta defoliación, confirma los efectos de la enfermedad, al registrarse valores más bajos en las plantas tratadas con los fungicidas. En cuanto a la producción de café, para el 2016 no se observaron diferencias estadísticas significativas entre las plantas tratadas con triadimenol y cyproconazole, comparadas con el testigo sin aplicación; sin embargo, en el 2017 sí se registraron diferencias estadísticas significativas entre las plantas sin tratar y algunos de los tratamientos con los fungicidas para ambos criterios de manejo (calendario fijo y floración principal). En cuanto a mancha de hierro, ésta ha sido esporádica en los frutos, debido a la adecuada y oportuna nutrición y manejo agronómico del experimento. Después

de tres años de investigación, los resultados indican que el criterio de aplicación basado en el calendario fijo desarrollado por FNC-Cenicafé y el ajustado con base en floración principal, están teniendo comportamientos biológicos similares en el control de la roya, y que el triadimenol puede incluirse dentro de las alternativas químicas a usar para su control de la roya. Además, no se han observado efectos benéficos complementarios sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### Otras alternativas para el manejo de enfermedades: inductores de resistencia, micorrizas, bionutrición y regulación de patógenos

#### Evaluación de dos fuentes de inductores de resistencia como estrategia para el manejo integrado de la roya del caféto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.).

En esta investigación, en colaboración con una compañía privada, se evaluaron dos compuestos formulados de origen natural codificados como P1 y P2, como posibles inductores de resistencia a la roya del caféto, aplicados en plantas de almácigo de 6 meses de edad de *C. arabica* variedad Caturra, en dosis contrastantes de 1/4X, 1X (dosis recomendada por el fabricante) y 4X, en tres intervalos de aplicación única (15, 30 y 45 días) antes de la inoculación de una suspensión de 70.000 y 80.000 urediniosporas/mL de roya en invernadero. Se evaluó la incidencia y la severidad de la enfermedad en hojas aplicadas y sin aplicación del inductor, después de 30 días de inoculada.

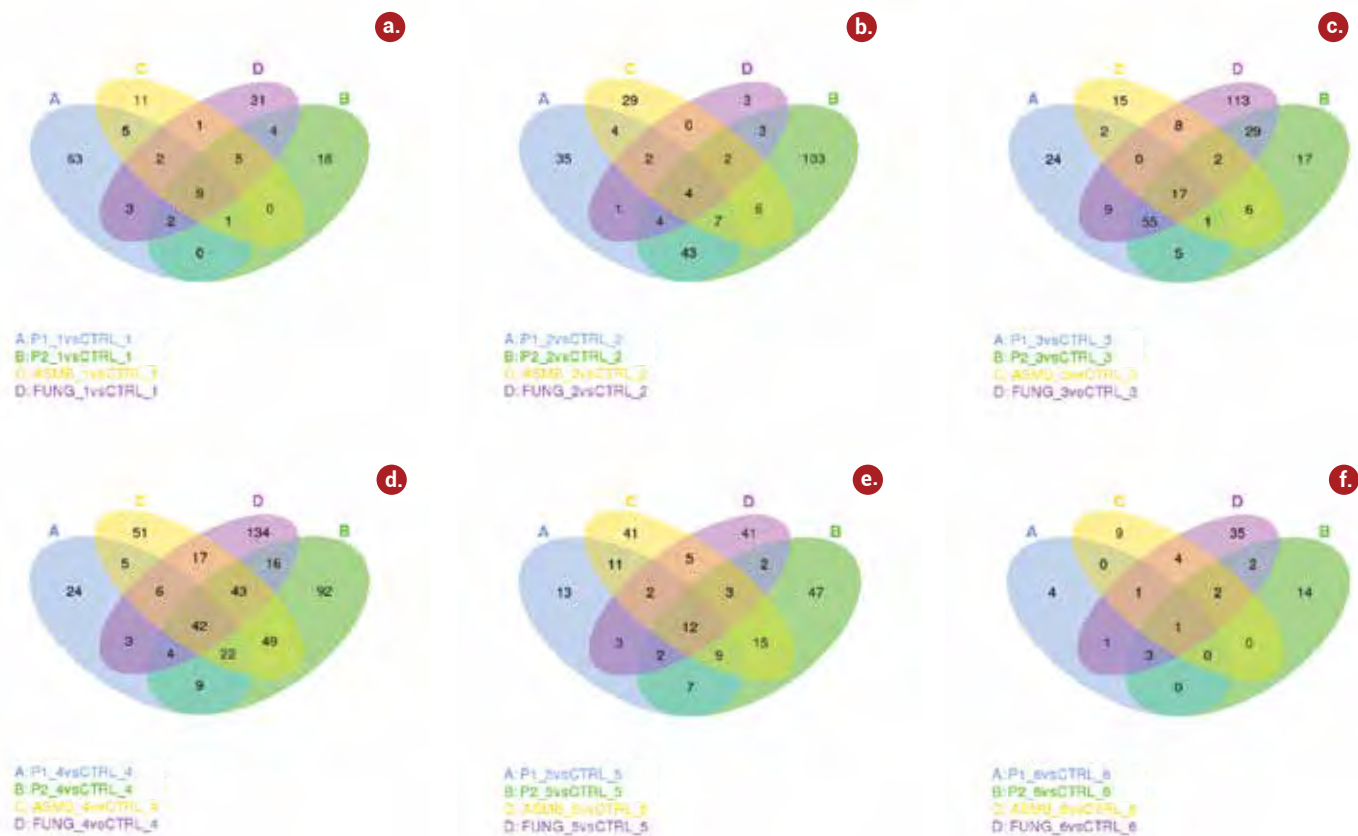
Los resultados indican reducción de la severidad de la enfermedad frente al testigo absoluto sin aplicación; la reducción de la severidad fue más local a intervalos de tiempo más cortos, el control disminuyó al aumentar el tiempo de la aplicación y las dosis recomendadas tienen el mismo efecto que las dosis altas, tanto para los efectos locales como sistémicos o como para los intervalos de menor a mayor exposición, sin representar una diferencia estadística significativa. Los mayores efectos sistémicos de control se observaron cuando se aplicaron los inductores a los 15 y 30 días antes de la inoculación de la roya. Al evaluar *in vitro* el porcentaje de germinación de urediniosporas, existieron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al testigo absoluto germinado en agua, y hubo efecto de las dosis, donde uno de los dos productos tuvo baja inhibición, pero el otro inhibió completamente la germinación a las dosis recomendadas, siendo

igual al inductor comercial testigo de referencia Acibenzolar-S-Metil y al fungicida cyproconazole.

Cuando se probaron estas dosis en aplicación única, en almácigos expuestos a condiciones ambientales en el campo, inoculados con roya artificialmente, la incidencia y la severidad en plantas aplicadas con el fungicida fueron más bajas y estadísticamente diferentes a todos los tratamientos, mientras que para los dos inductores y el de referencia no se presentaron diferencias estadísticas entre ellos para la incidencia, pero sí en severidad, aunque en todos los casos la incidencia y severidad fueron altas. Es decir, que ninguno de los inductores fue capaz de reducir efectivamente la roya y en ningún momento se parecieron al fungicida, que por su naturaleza y modo de acción no serían comparables.

Finalmente, se realizó un análisis de secuenciación de ARN para explorar la respuesta genética y rutas metabólicas activadas o silenciadas por estos inductores de resistencia. Se tomaron muestras compuestas de hojas a los 3, 7, 17, 22, 29 y 37 días después de aplicación de productos, un día antes de inocular la roya, y 7 días después de inoculada. Se obtuvieron entre 19 y 42 millones de secuencias en los tratamientos, que se mapearon sobre el genoma de referencia publicado de *Coffea canephora*, uno de los dos ancestros de *C. arabica*, y se determinó la expresión diferencial de 905 genes sobre-expresados y 1.498 sub-expresados, dependiendo de cada tratamiento y el tiempo de muestreo (Figura 42). Los resultados indicaron comportamientos diferentes de ambos inductores con respecto al inductor de referencia y al fungicida, y se destacaron diversas rutas metabólicas, entre ellas la de biosíntesis de flavonoides, de cutina, suberina y ceras, de triterpenoides y sesquiterpenoides, de proteínas de antena de fotosíntesis, de metabolitos secundarios (Figura 43), entre otras, que deben ser analizadas posteriormente.

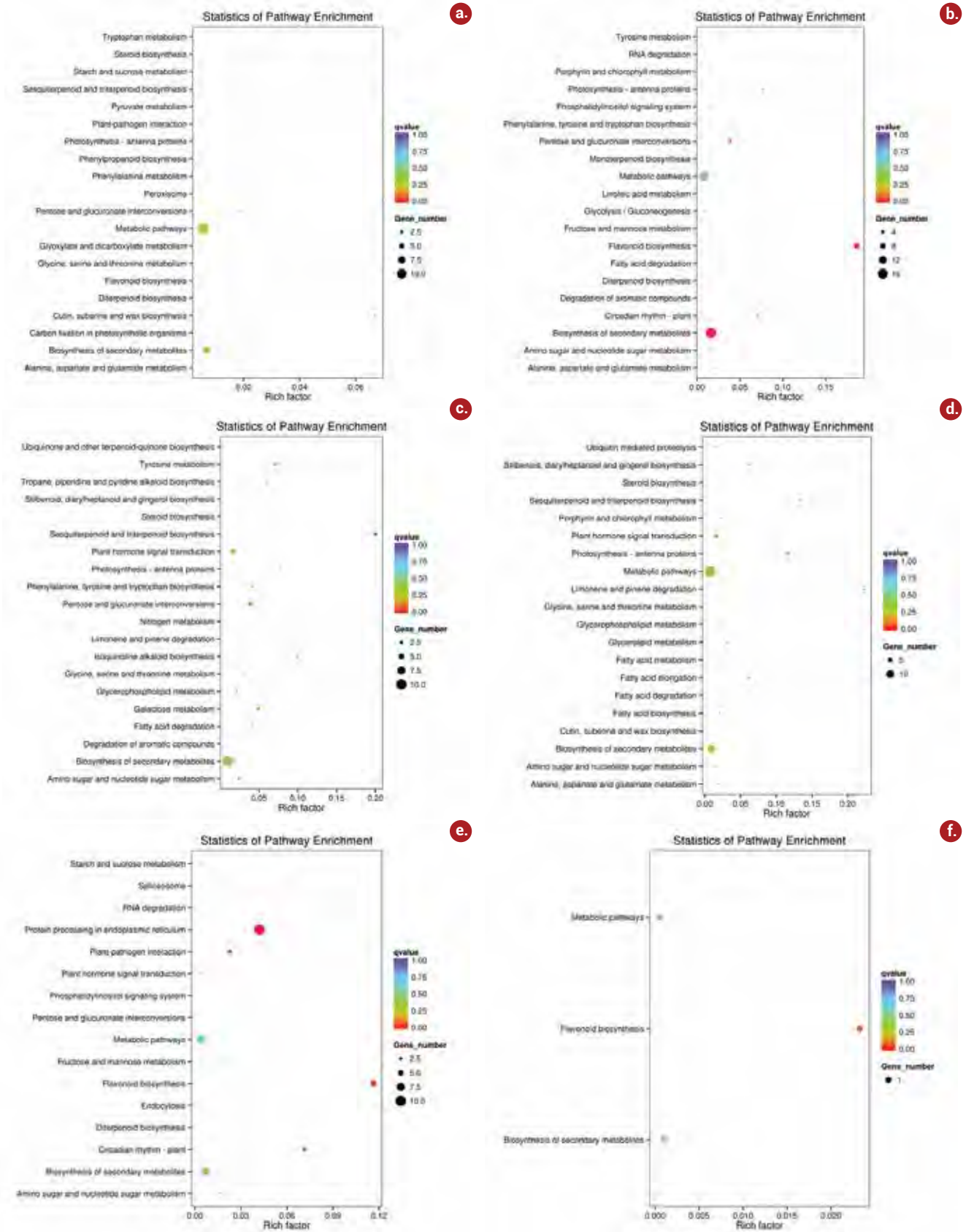
**Aislamiento, identificación y funcionalidad de micorrizas arbusculares aisladas del departamento del Huila. Sistema General de Regalías-SGR Huila.** Con el objetivo de contribuir al conocimiento de la diversidad y funcionalidad de las Micorrizas Arbusculares (MA) en el cultivo de café en el departamento del Huila, se tomó la información generada por el Sistema de Información Cafetera (SIC@) 2016, relacionándola con variables de precipitación anual, altura sobre el nivel del mar, pendiente del terreno,



**Figura 42.** Diagramas de Venn para la expresión única diferencial de genes en la comparación múltiple de los cuatro tratamientos P1, P2, ASMB y FUNG *versus* el tratamiento testigo CTRL donde se aplicó agua, para los seis tiempos de muestreo (1 al 6): **a.** 3 días después de aplicación – d.d.a.; **b.** 7 d.d.a.; **c.** 17 d.d.a.; **d.** 22 d.d.a.; **e.** 29 d.d.a. y un día antes de inocular la roya; y **f.** 37 d.d.a. con 7 días después de inoculada la roya.

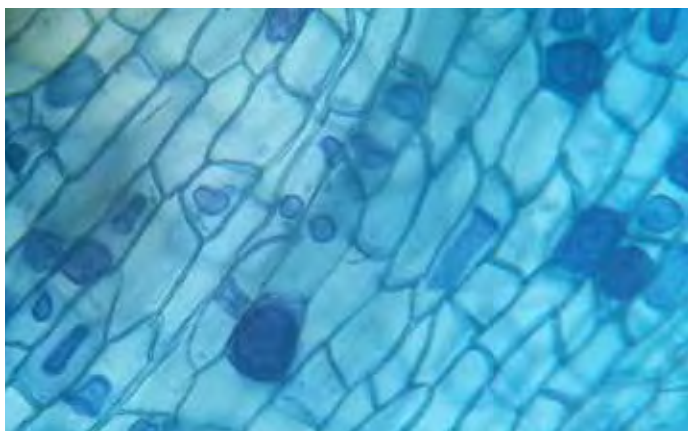
edad del cultivo y variedades de café. A partir de los análisis, se seleccionaron los lotes de cultivos a muestrear, y entre septiembre de 2016 y abril de 2017, se recolectaron muestras de suelo y raíces de plantas de café en 105 lotes, en 35 municipios cafeteros del Huila, cumpliendo a totalidad con la meta propuesta. De estos predios, 67 pertenecen a pequeños caficultores que no superan las dos hectáreas de café, y los restantes 38 lotes, correspondieron a áreas mayores a dos hectáreas; 44 lotes estaban sembrados en variedad Caturra y 61 lotes en Variedad Castillo® General. Los resultados obtenidos hasta el momento, han permitido constatar la diversidad de estos hongos asociados a la rizosfera de plantas de café en la región (Figura 44). Se han establecido cultivos trampa en plantas de *Pueraria phaseoloides* y *Brachiaria decumbens*, para recolectar e incrementar las poblaciones de MA de forma experimental de cada muestra, lo cual ha tomado cerca de 8 meses para cada uno de estos cultivos.

Hasta el momento se han evaluado muestras de 31 lotes de los municipios de Altamira, Tarqui, Guadalupe, Pital, Agrado, Garzón, Oporapa, Saladoblanco, Elías, Timaná e Isnos, encontrando densidades de esporas con rangos entre 23 y 1.871 esporas por 100 g de suelo. De igual manera, se han establecido 46 cultivos multiespóricos de muestras provenientes de Altamira, Tarqui, Guadalupe, Pital, Agrado y Elías (Figura 45). La extracción de esporas de los cultivos multiespóricos tiene como finalidad identificar las MA, y tener la suficiente cantidad de inóculo nativo puro, para comenzar los ensayos de efectividad de estos incrementos de MA en plantas de café, en el primer semestre de 2018. Los resultados preliminares en cultivos trampa indican la presencia de esporas de los géneros de MA *Acaulospora* spp., *Entrophospora* spp., *Glomus* spp. y *Sclerocystis* spp. Los resultados que este proyecto genere serán de utilidad dentro de las alternativas de manejo integral del cultivo, para mejorar su nutrición, sanidad y sostenibilidad económica y ambiental.

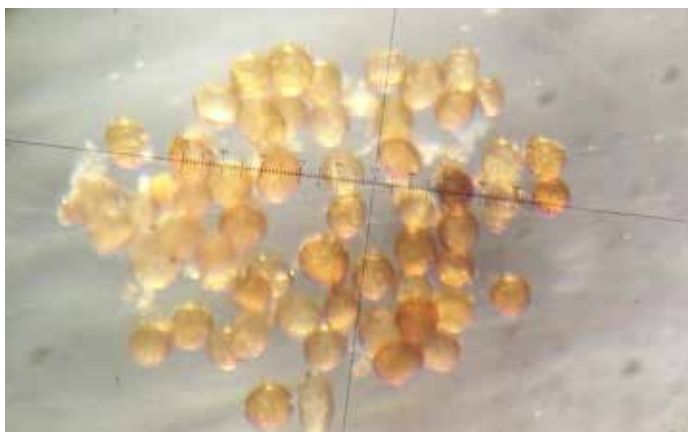


**Figura 43.** Gráfica de dispersión de genes diferencialmente expresados en rutas enriquecidas KEGG para el tratamiento SASP1 *versus* el testigo de agua CTRL, para los seis muestreos (1 al 6): **a.** 3 días después de la aplicación - d.d.a.; **b.** 7 d.d.a.; **c.** 17 d.d.a.; **d.** 22 d.d.a.; **e.** 29 d.d.a. y un día antes de inocular la roya; y **f.** 37 d.d.a. con 7 días después de inoculada la roya.

**Validación de la alternancia de fertilizantes químicos y biológicos en el cultivo de café.** Dentro de las alternativas de manejo integral y sostenible para el cultivo del café, se está investigando sobre el uso de productos formulados con base en microorganismos (productos biológicos) que puedan tener un efecto sobre la nutrición y la sanidad de las plantas. Para ello, en las Estaciones Experimentales La Catalina (Pereira, Risaralda) y Paraguaicito (Buenavista, Quindío), se están validando resultados previos sobre bionutrición en café, evaluando tres alternativas: P1- nutrición mineral con base en análisis de suelos; P2 - reducción del 33% de los nutrientes minerales + biológicos; y P3 - reducción del 56% de los nutrientes minerales + biológicos. En La Catalina, el crecimiento de las plantas no



**Figura 44.** Propágulos de hongos formadores de Micorrizas Arbusculares: Vesículas – Arbúsculo. Municipio de Elías - Huila, Lote 4124401235.



**Figura 45.** Cultivo multiespórico de hongo formador de Micorrizas Arbusculares. Municipio San Agustín - Huila, Lote 4166806774.

presentó diferencias estadísticas significativas entre P1 y P2, pero sí entre estas dos con la alternativa P3. La enfermedad de la mancha de hierro en frutos registró la incidencia más alta en el tratamiento P1 (6,2%), siendo la evaluación de noviembre de 2016 la que presentó los valores más altos con diferencias estadísticas con las otras dos alternativas (2,8% y 1,3%, respectivamente). La producción anual solo mostró diferencias estadísticas significativas entre P1 y P3 en la cosecha del 2016, y en lo transcurrido de la cosecha de 2017 se observaron diferencias significativas entre P1 y P2. Cada una de estas alternativas no difiere estadísticamente con P3. En la producción acumulada de cuatro cosechas se presentaron diferencias estadísticas entre P1 y P3, pero no se evidencian esas diferencias entre P1 y P2. En Paraguaicito se presentaron diferencias estadísticas significativas en el crecimiento de las plantas a favor de P2 comparado con P1. Estas diferencias también se presentaron entre las dos alternativas que tuvieron las reducciones del nutriente + el biológico (P2 y P3), siendo las mismas a favor de P2. La mancha de hierro en noviembre de 2016 y julio de 2017, meses que coinciden con los picos de cosecha y de mitaca en esta zona, presentaron diferencias estadísticas entre la alternativa P1 (7,2% y 4,3%), P2 (3,0% y 2,1%) y P3 (3,4 y 2,5%) respectivamente. En la producción anual 2016 y lo transcurrido a septiembre de 2017, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre P1 y P2, diferencias que si se evidencian entre estas dos alternativas con P3. En el promedio de la producción acumulada de cuatro cosechas se presentaron diferencias estadísticas entre las tres alternativas a favor de P1. La calidad de café recolectado en las dos Estaciones Experimentales, luego de tres cosechas de café (2014-2016) y lo recolectado hasta septiembre de 2017, en las tres alternativas de nutrición, no presentaron diferencias estadísticas significativas en los factores de conversión y en el factor de rendimiento.

**Biorregulación de patógenos aéreos en el cultivo de café.** Con el propósito de evaluar la capacidad antagonista del hongo *Trichoderma harzianum* sobre el desarrollo y patogenicidad del hongo *Erythricium salmonicolor* causante de la enfermedad del mal rosado en el cafeto, se realizaron dos experimentos en condiciones controladas de Fitotrón. El primer

experimento se realizó en plantas de café de 7 meses de edad, correspondientes a dos progenies de la Variedad Castillo® (CU 1827 y CU 1991), en las cuales se evaluaron tratamientos preventivos y curativos del antagonista sobre el patógeno. En el segundo experimento, se usó la progenie CU 1812 de 8 meses y se evaluaron cinco nuevos tratamientos, también preventivos y curativos. En ambos experimentos se utilizó la dosis de 10 g.L<sup>-1</sup> de agua del hongo *T. harzianum* asperjado sobre la parte aérea de las plantas.

Para la inoculación del hongo patógeno se partió del aislamiento de *E. salmonicolor* de ramas y tallos de café afectados por esta enfermedad. Se evaluó el crecimiento de las plantas y la incidencia y severidad de la enfermedad. En el primer experimento, el tratamiento que mostró la menor severidad de la enfermedad en las dos progenies (54%) fue la aplicación de *T. harzianum* como curativo, 11 días después de inoculado el patógeno, comparado con la inoculación del testigo del patógeno que registró la mayor enfermedad (93%). En el segundo experimento, los tratamientos donde se aplicó *T. harzianum* como preventivo y curativo presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a las plantas no tratadas. La aplicación preventiva de *T. harzianum* registró los valores de severidad más bajos (11%) comparado con las plantas inoculadas con *E. salmonicolor* (54%) sin tratar con el antagonista. En los dos experimentos, la altura de las plantas no se afectó por la enfermedad, pero el número de hojas

totales se vio disminuido por el daño causado por *E. salmonicolor* en el tallo. En las condiciones de este estudio, con un ambiente óptimo para el desarrollo y patogenicidad de *E. salmonicolor*, el antagonista *T. harzianum* logró reducir la severidad de la enfermedad en el 42% en el primer experimento y 79% en el segundo. Los resultados preliminares obtenidos indican el potencial que existe en estos hongos controladores biológicos o antagonistas para ser investigados con mayor detalle, y de ser exitosos analizar su incorporación dentro de las alternativas para el manejo integrado de enfermedades en cultivos como el café.

### **Estudio, evaluación y manejo de enfermedades endémicas y emergentes en cafetales en Colombia: gotera (*Mycena citricolor*) y muerte descendente (*Phoma* spp.)**

**Evaluación del comportamiento del hongo *Mycena citricolor* ((Berk. & M.A. Curtis) Sacc.), causante del "ojo de gallo o gotera" del cafeto en Colombia en condiciones naturales y su caracterización biológica, patogénica y molecular.** Para la vigencia 2016 – 2017 se realizaron avances en aspectos básicos de la biología del hongo, al igual que en el desarrollo y estandarización de las metodologías de investigación en el laboratorio y cuartos de crecimiento. Se continuó con la obtención de gemas y aislamientos puros a partir de hojas infectadas con gotera, procedentes de predios en los departamentos de Antioquia, Cesar, Nariño, Tolima y Casanare, utilizando la metodología de cámaras húmedas. Con esta metodología también se hizo seguimiento al daño ocasionado por gotera a nudos, entrenudos y frutos. En ensayos en el fitotrón (21°C, 90%-95% de humedad relativa y fotoperiodo de 12 horas a baja intensidad), se inocularon 30 plantas de café var. Caturra autofecundado, que tenían de 5 a 6 pares de hojas, con gemas del aislamiento O10 (producidas a partir de agregados de micelio del hongo). Las hojas se inocularon en cuatro puntos, siempre sobre el segundo par de hojas más nuevas y desarrolladas, sobre cada punto se descargaron 30 µL de gemas y se evaluó el tamaño de área afectada y número de gemas de cada lesión mediante análisis de imágenes y escalas en mm<sup>2</sup> y cm<sup>2</sup>, a los 2, 4, 8 y 16 días después de la inoculación.

Con los resultados se determinó que el tamaño mínimo de muestras es de 29 plantas inoculadas en cuatro puntos, a un intervalo de confianza del 95%, con el cual se continuará la evaluación de patogenicidad de otros aislamientos. En este estudio fue posible observar basidios sobre las hojas lesionadas, estructuras de los mismos al microscopio, confirmando la presencia de basidiosporas (Figura 46), las cuales no habían sido documentadas anteriormente en vivo. Con este mismo aislamiento cultivado en medio líquido fue posible verificar la secreción de ácido oxálico utilizando cromatografía, lo que permitirá caracterizar otros aislamientos.

Para iniciar los estudios de epidemiología se seleccionó un lote en la Estación Experimental El Tambo donde se evaluará mensualmente la incidencia y la severidad de la enfermedad y su distribución, que inicia con el 82,7% de plantas afectadas, donde se identificaron los focos de plantas afectadas más del



10% de sus ramas, con respecto a plantas sanas y enfermas. La dinámica de incidencia y severidad se realizará en seis ramas por planta, en 60 plantas marcadas en el campo.

### Seguimiento y control químico de Gotera (*Mycena citricolor*) en dos localidades y en genotipos componentes de la Variedad Castillo®. FNC – GT – IPA.

En la Estación Experimental El Tambo se realizaron evaluaciones en el lote Los Naranjos, en los siete genotipos que componen la Variedad Castillo® El Tambo. En enero de 2017 el CX 2197 tuvo 26,5% y el CU 1843 registró 71,8% de incidencia de gotera. Estos mismos genotipos tuvieron niveles de infección de 85,5% y 89,9%, respectivamente. La tasa de progreso de gotera en cada uno de esos genotipos fue completamente diferente, alcanzando en el pico de la cosecha en esta estación experimental (mayo-junio) niveles de enfermedad entre el 85% y el 90%. La evaluación de gotera efectuada en junio siguió alta, pudiendo afectar la cantidad y calidad de la cosecha de café por las defoliaciones y daños en los frutos. La enfermedad desde el 2014 hasta el 2017 muestra variabilidad en los genotipos de la Variedad Castillo® El Tambo; el CX 2186 ha mostrado los valores más bajos de enfermedad, el CU 1815 valores intermedios, y el CU 1855 los más altos. Independiente de los genotipos, hay más incidencia de la enfermedad en la parte baja de los árboles, luego en la media, y finalmente, en la parte alta.

Para el caso del manejo químico, ésta es una actividad exploratoria de investigación, que busca evaluar en materiales de café distribuidos en las Estaciones Experimentales El Tambo y Pueblo Bello, en dos condiciones altitudinales, al sol y a la sombra, en la variedad Caturra y en cuatro genotipos componentes de la Variedad Castillo® General. Además, se está evaluando la respuesta al aplicar de manera preventiva al suelo los fungicidas thiametoxam + cyproconazole y flutriafol + imidacloprid como medida de protección en el control de gotera.

En la Estación El Tambo, los materiales están a altitudes de 1.700 m (lote El Aguacate) y 1.800 m (lote Mirador), y en cada condición al 35% y 65% de sombrío, respectivamente. La incidencia de gotera

fue baja en mayo de 2016 a 35% de sombrío en los diferentes materiales, pero con sombrío del 65% la enfermedad aumentó, donde el CU1827 tuvo altos niveles de gotera y un control deficiente de esa enfermedad con los dos fungicidas. Cuando se compara la presencia de la roya en el lote que está por debajo de 1.700 m, la enfermedad se ha presentado predominantemente en la variedad Caturra, estando en el 43% en las plantas que aún estaban en almácigo. En los genotipos resistentes CX2710, CU 1827 y CU 1991 la roya ha sido baja, y estadísticamente diferentes a Caturra. En noviembre de 2016, mayo y septiembre de 2017, la roya en todos los materiales incluido Caturra fue baja, además del control ejercido por los fungicidas que fue estadísticamente diferente, y en las dos condiciones de sombrío. La gotera se mantuvo en todos los materiales con bajos niveles a sombrío del 35%, pero a alto sombrío del 65%, en ese mismo genotipo CU1827 y más baja incidencia en Caturra durante este año. El comportamiento de las dos enfermedades a 1.800 m de altitud tuvo de manera general la misma dinámica y los mismos cambios que a



**Figura 46.** Fotografías al microscopio de luz donde se aprecian basidiocarpos del **a.** hongo *Mycena citricolor* (sinónimo: *Omphalia flavida*), **b.** sus filamentos y **c.** las basidiosporas producidas.

1.700 m, pero los valores de incidencia fueron más bajos a 1.800 m que a 1.700 m de altitud.

En la Estación Pueblo Bello (Cesar), los materiales se ubicaron a 1.134 m y 1.350 m de altitud, al sol y con sombrío de 50%, en cada condición. A pesar de haber tenido condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad de la gotera, la dinámica de la incidencia ha sido muy baja. Los fungicidas en la variedad Caturra han mostrado tener efecto de control sobre la roya, y se está investigando si hay o no diferencias en efectividad y posible efecto residual de control entre ellos.

Los resultados indican que los fungicidas thiametoxam + cyproconazole y flutriafol + imidacloprid tienen modos de acción que parecen no son eficaces para el control de gotera.

**Evaluación de productos para el control químico de la muerte descendente: Acción del fungicida fluxapiraxad + pyraclostrobin en el control de la muerte descendente (*Phoma* spp) del café y su efecto en la producción. FNC – GT – IPA.** Con los objetivos de contribuir al conocimiento del manejo de la muerte descendente del café en Colombia, determinar el efecto de los ingredientes activos fluxapiraxad + pyraclostrobin sobre el hongo causante de *Phoma* spp y el efecto del fungicida en el desarrollo y la producción de plantas de café, se estableció un experimento de campo, en mayo de 2013, en Salento (Quindío), a una altitud de 1.800 m en una zona endémica para la enfermedad. Se utilizaron plantas de café de la Variedad Castillo®, en etapa de crecimiento vegetativo, al inicio del experimento de 18 meses de edad. En este experimento se evaluó el fungicida fluxapiraxad + pyraclostrobin aplicado en tres diferentes dosis y en diferentes periodos del año, y se tuvo como testigo de referencia el fungicida boscalid. Las aplicaciones de los fungicidas se realizaron al follaje de las plantas, y en total se realizaron 26 evaluaciones. Se midieron variables de crecimiento de las plantas y de sanidad con intervalos de 45 días (altura de las plantas, diámetro del tallo, número de cruces, número de ramas primarias, secundarias y terciarias, ramas perdidas, incidencia y defoliación causada por *Phoma* spp. en el cogollo, incidencia de *Phoma* en hojas nuevas de las ramas principales y secundarias, y producción.

En este experimento, a pesar de haberse realizado en una región con antecedentes de epidemias de la muerte descendente, las

condiciones ambientales predominantes durante la mayoría del tiempo de experimentación (El Niño y Neutra), no permitieron determinar la incidencia, severidad e impacto de la enfermedad sobre las plantas, y de este modo los efectos de las aplicaciones de los fungicidas que se aplicaron contra este patógeno. En las condiciones experimentales de Salento (Quindío), después de tres años de manejo con los fungicidas, no se generó una información experimental confiable medida a través de las variables crecimiento de las plantas, sanidad del cultivo y producción anual y acumulada de tres cosechas de café, que permitan recomendar aplicaciones de estos productos para el control de *Phoma* spp.

#### **Efecto del fungicida ciproconazole + trifloxystrobin en el control de la roya del café, mancha de hierro y mal Rosado (*Erythricium salmonicolor*) en plantas de café.**

En agosto de 2016 se inició un experimento con el fin de ampliar el conocimiento sobre alternativas para el manejo de la roya del café, mancha de hierro y mal rosado en plantas de café con el fungicida ciproconazole + trifloxystrobin, empleando las dosis de 400 y 450 cc.ha<sup>-1</sup>, determinando el efecto sobre el desarrollo y la producción de plantas de café. La investigación se realiza en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda), en un lote de café en zocas de variedad Caturra sembradas a 1,0 m x 1,4 m. Esas plantas fueron intervenidas en noviembre del año 2015 y al momento de iniciarse el experimento tenían una edad de 9 meses. Se encuentra bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con ocho repeticiones por tratamiento, 30 árboles por parcela y de diez árboles de parcela efectiva. El cultivo se encuentra a libre exposición y en él se está comparando el calendario desarrollado por la FNC – Cenicafé para la cosecha de segundo semestre del año con el criterio de "floración principal". Se está registrando la información relacionada con variables de crecimiento, incidencia y severidad de enfermedades y registros de producción. Por tratarse de un cultivo recién renovado y con el fin de no permitir que la roya iniciara tempranamente y causara daños sobre los chupones ya escogidos, se realizó una aplicación de fungicida como mantenimiento en todas las parcelas que recibieron las aplicaciones de éste (agosto de 2016), a excepción de las parcelas testigos que no recibieron la aplicación del fungicida. Los efectos biológicos de esta aplicación se prolongaron hasta inicio del año 2017, con diferencias estadísticas en la incidencia

de la roya entre las plantas que recibieron el fungicida y las que no la tuvieron. En cuanto al registro de floración principal, ocurrió el 17 de febrero de 2017, situación que indicó la aplicación a mediados del mes de abril de los tratamientos por floración principal, que fue similar a los tratamientos que se rigen por el calendario fijo de la FNC, al menos para este año 2017. La roya y la mancha de hierro se han mantenido en bajos niveles de infección con diferencias estadísticas, donde las plantas testigo sin aplicación de fungicida registraron 8% de incidencia de roya en septiembre de 2017. En producción, apenas se están realizando los primeros pases de café de la primera cosecha principal.

**Efecto del fungicida bixafen + tebuconazole en el control de la roya del cafeto, mancha de hierro y mal rosado (*Erythricium salmonicolor*) en plantas de café.** Con el fin de ampliar el conocimiento sobre el manejo de la roya del cafeto, mancha de hierro y mal rosado se propuso evaluar el efecto del producto bixafen + tebuconazole y su impacto sobre el desarrollo y la producción de las plantas. Este fungicida contiene una carboxamida, molécula relativamente reciente en el mercado nacional y usada para manejo de otras enfermedades en cultivos diferentes al café. Para ello, se estableció un experimento en julio de 2016, en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), en un diseño experimental completamente aleatorizado, con cuatro repeticiones por las variedades de porte bajo Caturra, Variedad Castillo® Naranjal y la progenie CU 1843, sembradas a una distancia de 1 m x 2 m, y la variedad de porte alto Geisha susceptible a la roya, sembrada a

2,0 m x 2,5 m. El lote experimental cuenta con sombrío de guamo santafereño sembrado a 12 m x 12 m, con el fin de generar resultados que permitan refinar criterios de manejo y de control de la roya bajo condiciones de sombrío. En este experimento se está comparando el calendario fijo de control desarrollado por la FNC – Cenicafé, para cosecha de segundo semestre del año con el de criterio de "floración principal". Las aplicaciones con el fungicida se iniciaron en abril de 2017, pero la segunda aplicación del año se realizó el 24 y 25 de julio con el fungicida cyproconazole + trifloxystrobin, empleando la dosis de 450 cc.ha<sup>-1</sup>, debido a la salida del mercado del fungicida evaluado. Se está registrando la información relacionada con variables de crecimiento, incidencia y severidad de enfermedades y de producción. Al momento de presentar este informe, las plantas completan 14 meses de sembradas, razón por la cual no se tiene información de producción. El efecto de una aplicación del fungicida evaluado considerada de mantenimiento en las plantas en agosto de 2016 mostró sus beneficios en la reducción de la roya y la mancha de hierro en el follaje, y en los meses siguientes los tratamientos testigos absolutos que no la recibieron tuvieron los valores más altos, mostrando a su vez diferencias estadísticas con los demás tratamientos al interior de cada variedad. Este resultado se prolongó hasta enero de 2017. Entre variedades, a pesar del corto tiempo que lleva este experimento las infecciones por roya han sido más altas en Caturra que en Geisha. En cuanto a mancha de hierro, la enfermedad en las hojas ha sido más alta en la progenie CU 1843 y menores en la variedad Caturra.

## Fitotecnia



**Estudio agroeconómico de Sistemas agroforestales con especies nativas de alto valor comercial.** En la Estación Experimental El Tambo (El Tambo, Cauca), se realiza un estudio agroeconómico de sistemas agroforestales con especies nativas de alto valor comercial. Para este propósito se evalúan dos densidades de siembra (78 y 123 árboles/ha) de las especies arbóreas *Retrophyllum rospigliosii* (chaquiro), *Prunus integrifolia* (trapiche), *Myrsine guainensis* (cucharero) y *Albizia carbonaria* (carbonero), y tres densidades de siembra del café (3.673, 5.500 y 6.944 plantas/ha). En la Tabla 25 se presentan los resultados de

producción correspondientes al acumulado de cuatro cosechas (2014 a 2017).

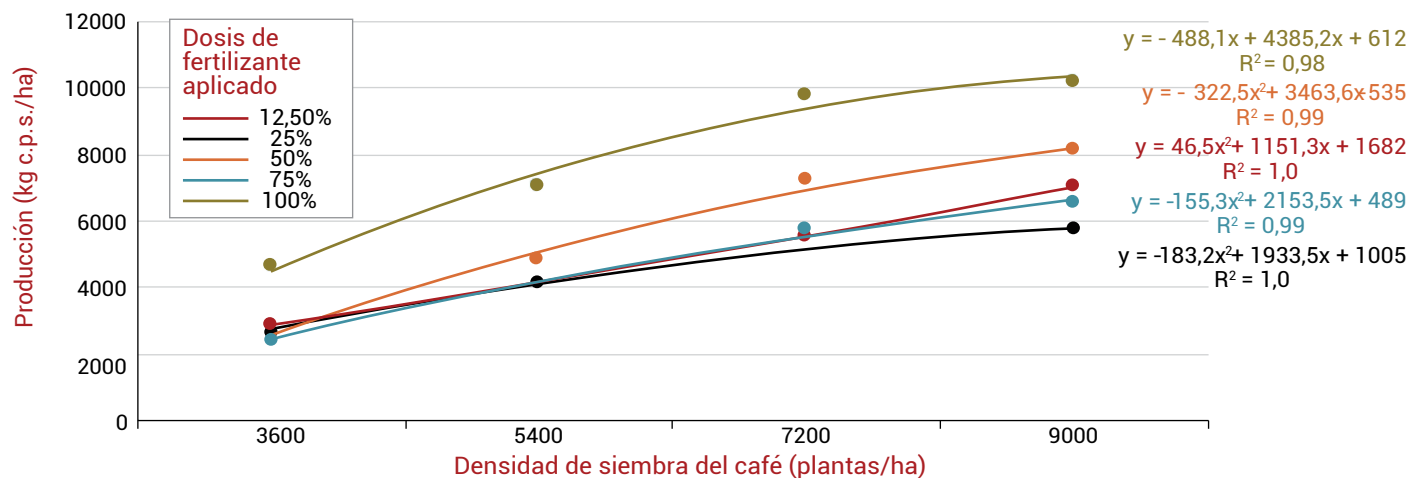
Las mayores producciones se obtuvieron con densidades de siembra del café cercanas a 7.000 plantas/ha y densidades de siembra del sombrío de 123 árboles/ha; con esta misma densidad de siembra del café y con el sombrío a 12,0 x 12,0 m, fue evidente una reducción en la producción del 18,0%. Se presentaron diferencias estadísticas entre las densidades de siembra iguales para el café, pero con diferentes densidades de siembra del sombrío. A bajas densidades de siembra del café su producción se favorece con 78 árboles de sombrío por

hectárea; no obstante, con 5.500 plantas de café por hectárea, las producciones fueron 13% menores con 78 árboles de sombrío por hectárea (Tabla 25).

**Evaluación del efecto en la producción de café, de densidades de siembra y dosis de fertilización en sistemas agroforestales.** En la Granja Blonay (Chinácota, Norte de Santander), se evalúa el efecto en la producción de café, de densidades de siembra y dosis de fertilización en sistemas agroforestales. Los tratamientos están conformados por la combinación de cinco niveles de fertilización (0%, 25%, 50%, 75% y 100%, según resultados de los análisis de suelos) y cuatro densidades de siembra del café: 3.600, 5.400, 7.200 y 9.000 plantas/ha, correspondientes a las distancias de siembra de 1,65 x 1,65 m; 1,35 x 1,35 m; 1,18 x 1,18 m y 1,05 x 1,05 m. Para la presentación de los resultados se construyeron funciones de producción relacionándolas con las dosis de fertilizante aplicado y las densidades de siembra evaluadas (Figura 47). Las funciones que presentaron el mayor ajuste fueron polinomios cuadrados.

**Tabla 25.** Producción acumulada de cuatro cosechas (2014 a 2017) de café pergamino seco (kg.ha<sup>-1</sup>).

N°	Árboles de sombrío/ha	Plantas de café por hectárea	Producción (kg.ha <sup>-1</sup> )
1	123	3.673	5.744 e
2	78	3.673	7.443 d
3	123	5.500	10.287 c
4	78	5.500	8.260 d
5	123	6.944	15.358 a
6	78	6.944	12.665 b



**Figura 47.** Funciones de la producción acumulada de café de cuatro cosechas (2013 a 2016). Granja Blonay, Norte de Santander

Al aplicar dosis crecientes de fertilizante inorgánico a las diferentes densidades de siembra del café, se observa que las mayores producciones se obtienen con la aplicación del 100% de las dosis de fertilizante recomendadas en los análisis de suelos y con densidades de siembra de 9.000 plantas/ha. En densidades de siembra inferiores a 4.000 plantas/ha, se alcanza en promedio 2.713 kg de café pergamino seco durante cuatro cosechas, al aplicar entre el 12,5% y el 75% del fertilizante. Con aumentos de la densidad de siembra, de 5.400 a 9.000 plantas/ha, realizar los análisis de suelos, aplicar la dosis recomendada en estos análisis y en la época apropiada, puede incrementarse la producción de café en un 45%.

**Ajuste de la densidad de tallos de café bajo sombrío como estrategia para incrementar la productividad con criterios de sostenibilidad.** En la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), se evalúa el efecto que sobre la producción presenta el incremento del número de tallos por hectárea, después del zoqueo del café, en las Variedades Castillo® y Tabi, bajo sombrío diverso.

La densidad de tallos del café fue modificada de acuerdo a los tratamientos que se presentan en la Tabla 26. La densidad de siembra del sombrío es de 70 árboles por hectárea y se tienen cuatro especies de sombra por cada unidad experimental.

En café Variedad Castillo®, las mayores producciones con 4.276 y 4.265 kg de café pergamino seco por hectárea (acumulado de tres cosechas, 2014 a 2016), se obtuvieron con 9.575 y 9.070 tallos de café por hectárea, respectivamente; en el primer caso con una densidad de siembra inicial de 7.182 sitios/ha, pero dejando dos tallos cada dos surcos de café, posterior a la renovación por zoqueo.

En café variedad Tabi descopado a 1,6 m, la máxima producción de 2.478 kg de café pergamino seco por hectárea (acumulado de dos cosechas, 2015 y 2016), se obtuvo con 7.315 tallos/ha de café. Resultado similar (2.547 kg) se registró con la misma variedad y el mismo número de tallos, pero con el café descopado a 1,80 m. (Tabla 27)

**Evaluación del efecto del número de tallos por sitio en la producción de café cereza en Variedad Castillo®.** Con el objetivo de evaluar el efecto del número de tallos por sitio en la producción de café cereza, en la Estación Experimental Naranjal, se seleccionó un lote de Variedad Castillo® Naranjal renovado por zoca común, con distancias de siembra de 1,5 x 1,5 m y una densidad de 4.444 plantas/ha. Para definir el número de tallos por sitio en la zoca, antes de la labor de selección de chupones, se asignaron aleatoriamente los siguientes tratamientos: un tallo por sitio, dos tallos por sitio y tres tallos por sitio, en tres parcelas de 670 plantas cada una.

A partir del registro de la producción de café cereza total de cada parcela y la producción individual, en una muestra de 100 árboles por tratamiento (unidades de muestreo), seleccionados aleatoriamente por una única vez, se obtuvo la producción acumulada por árbol, y como parámetro la producción acumulada de la parcela. Después de 4,5 años de edad de la plantación, la mayor producción estimada se presentó en el

**Tabla 26.** Ajuste de la densidad de tallos por hectárea en dos variedades de café bajo sombrero estratificado.

Variedad	Distancias de siembra (m)	Densidad de tallos inicial	Número de tallos/sitio	Densidad de tallos ajustada
Variedad Castillo®	1,65 x 1,65	3.673	2 tallos en todos los surcos	7.346
	1,35 x 1,35	5.487	2 tallos - surco por medio	8.230
	1,18 x 1,18	7.182	2 tallos cada dos surcos	9.575
	1,05 x 1,05	9.070	1 tallo en todos los surcos	9.070
Tabi (1)	2,35 x 2,35	1.811	3 tallos en todos los surcos	5.542
	1,65 x 1,65	3.673	2 tallos en todos los surcos	7.346
	1,35 x 1,35	5.487	2 tallos cada dos surcos	7.315
	1,18 x 1,18	7.181	1 tallo en todos los surcos	7.181
Tabi (2)	2,35 x 2,35	1.811	3 tallos en todos los surcos	5.542
	1,65 x 1,65	3.673	2 tallos en todos los surcos	7.346
	1,35 x 1,35	5.487	2 tallos cada dos surcos	7.315
	1,18 x 1,18	7.181	1 tallo en todos los surcos	7.181

Tabi (1). Fue descopado a 1,60 m de altura, Tabi (2). Fue descopado a 1,80 m de altura.

**Tabla 27.** Producción acumulada de café pergamino (kg.ha<sup>-1</sup>), de tres cosechas (2014 a 2016).

Café Variedad Castillo®		Café variedad Tabi		
No. tallos/ha	Producción	No. tallos/ha	Descope a 1,6 m	Descope a 1,8 m
7.346	3.074 b	5.542	1.112 c	1.192 c
8.230	3.572 b	7.346	1.939 b	2.102 b
9.575	4.276 a	7.315	2.478 a	2.547 a
9.070	4.265 a	7.181	1.838 b	2.152 b

Letras distintas indican diferencia estadística.

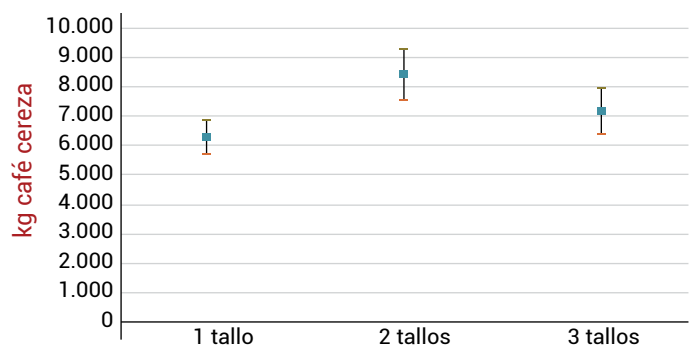
tratamiento con dos tallos por sitio, con respecto al tratamiento de un tallo por sitio, según prueba *t* al 5% (Figura 48).

Con los resultados obtenidos hasta el momento, la producción de dos tallos por sitio es un 24% mayor que la producción de un tallo por sitio, bajo el arreglo espacial y la densidad de plantas del sistema de producción evaluado.

**Evaluación de arreglos espaciales para café Variedad Castillo® en diferentes ambientes.** Se evaluó la respuesta de la producción de café cereza al arreglo espacial, en siembras de Variedad Castillo®, bajo tres distancias de siembra: 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha), 1,0 x 2,0 m con dos tallos por sitio (5.000 plantas/ha) y 0,75 x 1,4 m (9.523 plantas/ha),

en diferentes ambientes de la zona cafetera de Colombia, representadas por las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

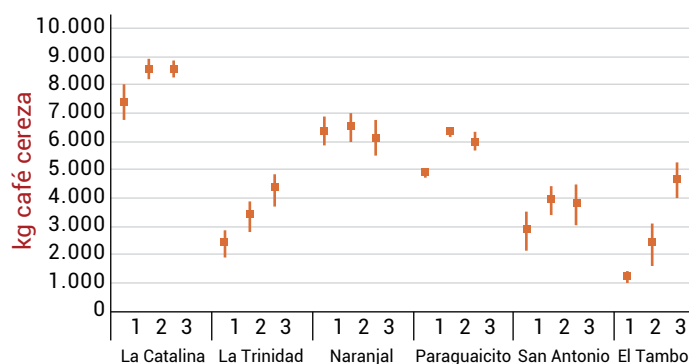
El experimento se estableció bajo el diseño de bloques completos al azar, en parcelas de 1.000 m<sup>2</sup> por cada arreglo espacial, con tres repeticiones distribuidas según el gradiente de fertilidad del suelo y en ocho



**Figura 48.** Producción estimada de café cereza (kg) por parcela, para zocas con uno, dos y tres tallos por sitio.

localidades, para un total de 24 bloques.

El análisis de la producción de café cereza acumulada durante tres cosechas, en seis de las ocho localidades (La Trinidad -Tolima; Naranjal- Caldas; Paraguaicito- Quindío; San Antonio- Santander; El Tambo- Cauca y La Catalina- Risaralda) mostró la menor producción en el arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m con dos tallos por sitio, con relación a los arreglos 1,0 x 1,0 m y 0,75 x 1,4 m en las



**Figura 49.** Producción acumulada de café cereza por parcela (kg), en tres arreglos espaciales (1= 1 x 2 m; 2= 0,75 x 1,4 m; 3= 1 x 1 m).

Estaciones La Catalina, Paraguaicito y El Tambo; así mismo, en la localidad de La Trinidad la producción obtenida con el arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m, fue menor a la registrada con el arreglo 1,0 x 1,0 m (Figura 49).

Con relación a la producción registrada en las seis localidades, pudo identificarse un primer grupo en el cual se obtuvieron los mayores registros de producción acumulada, conformado por las localidades de La Catalina, Naranjal y Paraguaicito, y un segundo grupo con menor registro de producción en las localidades de La Trinidad, El Tambo y San Antonio, según prueba de Tukey al 5%.

Los resultados preliminares confirman el efecto de la localidad sobre la producción y para cada localidad se destaca la importancia del arreglo espacial asociado a las altas densidades de siembra como factores determinantes para alcanzar las mayores producciones en el ciclo.

#### Evaluación de la densidad de población de tallos en la producción de café Variedad Castillo®.

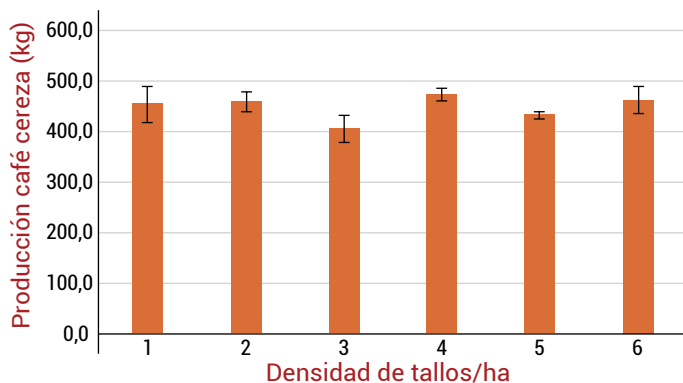
Para determinar la producción de café cereza por hectárea de acuerdo con la densidad de población de tallos, en la Estación Experimental La Catalina, se evalúan seis densidades de tallos con café Variedad Castillo® (Tabla 28), en tres arreglos espaciales (tratamientos). Las parcelas experimentales (unidad experimental) fueron asignadas aleatoriamente a los tratamientos bajo el diseño completamente aleatorio, con cinco repeticiones en un área de 132 m<sup>2</sup> por parcela.

Para la siembra se establecieron colinos con un solo tallo en los tratamientos 1, 2 y 3, y colinos descopados con dos tallos en los tratamientos 4, 5 y 6.

**Tabla 28.** Descripción de los tratamientos para cada densidad.

Tratamiento	Arreglo (m)	Densidad de siembra (plantas/ha)	Densidad (tallos/ha)
1	0,6 x 1,5	11.111	11.111
2	0,5 x 2,0	10.000	10.000
3	0,9 x 1,5	7.407	7.407
4	0,6 x 1,5	11.111	22.222
5	0,5 x 2,0	10.000	20.000
6	0,9 x 1,5	7.407	14.815

El promedio de la producción de café cereza registrada durante 18 meses, no mostró diferencias entre los tratamientos con las densidades de siembra y la población de tallos evaluados. Esto puede indicar que para la localidad donde se estableció el experimento, cuando se siembran más de 7.400 plantas por hectárea y se dejan dos tallos por sitio, el incremento en la producción no es significativo para la primera cosecha del ciclo (Figura 50).



**Figura 50.** Producción acumulada de café cereza a los 18 meses por parcela (kg), en seis densidades de población de tallos.

### Establecer estrategias para alcanzar la producción potencial de café en Colombia.

En un lote semicomercial de la Estación Experimental La Catalina se aplicaron las tecnologías generadas por Cenicafé, como el uso de la variedad resistente (Variedad Castillo® general), establecimiento de los colinos en la finca (almácigo realizado en agosto de 2011), establecimiento de la mejor densidad y arreglo (5.000 plantas por hectárea en arreglo 1 x 2 m, dos tallos por sitio, producto del descope en el almácigo), manejo de plagas como broca y cochinillas, fertilización y corrección de acidez, basados en los resultados de análisis de suelo, entre otras, con el fin de alcanzar la producción potencial.

Para el período comprendido entre mayo de 2015 y septiembre de 2016, se presentaron condiciones secas, con predominio de altas temperaturas. La temperatura media tuvo incrementos por encima de 1,5°C entre diciembre y marzo de 2016, los cuales, junto con la disminución de la oferta hídrica, repercutieron en el incremento del vaneamiento y los niveles de infestación de broca, situaciones que afectaron la calidad de la cosecha, relacionada con el incremento de los niveles de broca y el porcentaje de granos vanos.

De acuerdo con los valores registrados, la producción observada fue superior a la potencial. La condición de cultivo, de no tener el suelo en punto de marchitez y experimentar una mayor oferta térmica, con planes de manejo oportunos (fertilización, manejo fitosanitario y cosecha), se tradujo en mayor acumulación de grados día, y éstos a su vez, condicionaron una mayor ganancia de materia seca (Tabla 29).

En la estructura de costos directos, a valores de enero de 2017, se observó que las actividades de recolección con 60%, la fertilización (9,6%) y el manejo de arvenses (9,5%) tuvieron la mayor participación. El análisis económico parcial mostró un VPN de \$17,4 millones.

**Conocimiento del estado actual de la caficultura, con relación a las amenazas e impactos asociados a la variabilidad climática.** Investigación realizada en el marco del convenio entre el IDRC y Cenicafé.

En cada uno de los años del estudio (2006, 2009, 2012 y 2015) se utilizó la metodología de interpolación, con el fin de generar la información diaria de lluvia y temperatura para la zona cafetera de cada municipio, a una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>. Con la información de lluvia diaria se calculó el Balance Hídrico (BH) para conocer los acumulados anuales de déficit y exceso hídrico. Con la información de temperatura se obtuvo el promedio en grados centígrados (°C) por año de estudio.

En Balboa (Risaralda), los eventos con sobreoferta hídrica no son limitantes. El análisis del evento El Niño (2015) muestra la afectación por acumulados de déficit superiores a 400 mm por año. En Santuario (Risaralda) se presentaron contrastes por condiciones El Niño y Neutro (2012), con déficit de 400 mm en el primero y exceso

**Tabla 29.** Producción observada vs producción potencial

Año	Café cereza (kg.ha <sup>-1</sup> )	
	Observado	Potencial
2013	2.178	17.598
2014	25.579	27.538
2015	33.866	23.375
2016	33.013	19.753



superior a 400 mm en la franja altitudinal entre 1.400 y 1.600 m de altitud en el segundo. Para Salamina (Caldas), los mayores acumulados de déficit hídrico se presentan en El Niño en altitudes superiores a 1.400 m, mientras los excesos, superiores a 300 mm, se presentan en cualquier condición por debajo de 1.400 m de altitud.

En los tres municipios de este estudio, en 2006, 2009 y 2012, prevalecieron las condiciones de normalidad para el desarrollo del fruto, aunque pudo haberse limitado la floración de traviesa. En 2015, entre marzo y octubre, la situación es contrastante y pudo afectar tanto el desarrollo reproductivo como el crecimiento vegetativo, en parte de la caficultura en zonas de ambas vertientes del río Totuí, entre Balboa y Santuario, y en la parte baja de la cuenca del río Chamberí en Salamina.

La temperatura entre el año 2012 y el año 2015, mostró para Santuario y Balboa, en zonas por debajo de 1.200 m de altitud, variaciones superiores a 1,75°C; entre los 1.200 y 1.600 m de altitud fluctuó entre 1,3 y 1,6°C; mientras que por encima de 1.600 m de altitud fue inferior

a 1,1°C. En Salamina, la variación fue superior a 1,8°C, entre 1,32 y 1,63°C y menor de 1,0°C para los rangos menor de 1.200 m, entre 1.200 y 1.600 m, y mayor de 1.600 m de altitud, respectivamente.

Se determinaron los cambios temporales y espaciales en las áreas cafeteras de los tres municipios, registrando que, Santuario y Salamina disminuyeron su área cafetera entre 2009 y 2015 en 10% y 20%, respectivamente, mientras Balboa la incrementó en 14,3%.

El análisis del comportamiento interanual de los índices térmicos e hídricos, asociados a las etapas fisiológicas reproductivas del cultivo de café, no permite definir la condición biofísica (clima y suelo) como una causa de la dinámica de cambio en área y cultivos en los tres municipios en el período de estudio.

Existen situaciones relevantes en el período analizado como el predominio de eventos con mayor oferta hídrica entre 2006 y 2013, que favoreció a zonas normalmente secas, en las cuales se promovió la siembra, como el caso de Balboa.

## Mejoramiento genético



**Conservación de la Colección Colombiana de Café.** Los recursos genéticos corresponden por definición a todo el material genético con valor actual o potencial para la agricultura. Éstos son la materia prima para el mejoramiento genético de las especies, y es aquí donde los Bancos de Germoplasma desempeñan un papel importante tanto en su conservación como en la promoción de su uso.

En el caso de los recursos genéticos del café (*Coffea arabica* L.) por ser una especie endémica de África y por poseer semillas de tipo recalcitrante (no pueden ser conservadas por largos períodos), la diversidad disponible debe ser conservada en colecciones de campo. El mantenimiento de este tipo de colecciones presenta ventajas prácticas para la caracterización, evaluación y acceso inmediato a las accesiones conservadas. No obstante, la exposición a condiciones desfavorables de clima, factores bióticos y abióticos, sumados a la edad misma de los árboles, ejerce una presión constante de selección sobre los genotipos. Este hecho implica que, cuando no se toman las acciones

requeridas que disminuyan estos factores, aumenta la probabilidad de pérdida de diversidad genética tanto a nivel inter como intra-accesión.

Para Colombia, la diversidad disponible es mantenida en el Banco de Germoplasma de Café, denominado la Colección Colombiana de Café (CCC). Actualmente está constituido por 3.609 accesiones (Tabla 30), que de acuerdo a su origen se clasifican en: a. Introducciones, traídas a Colombia en diferentes épocas y de diferentes países (1.031); y b. Selecciones, realizadas en Cenicafé, resultantes de evaluaciones dentro de las introducciones y en poblaciones segregantes (2.578).

### Estado actual de conservación.

Los bancos de germoplasma deben garantizar que las accesiones que mantienen se conserven viables y en excelentes condiciones durante el mayor tiempo posible. La erosión genética ocasionada por inadecuadas prácticas de conservación *ex-situ* es ampliamente reconocida. A nivel mundial, cerca de la mitad de las accesiones conservadas requieren de

manera urgente de renovación, y en algunos casos el porcentaje es significativamente más alto. Como se mencionó, la edad actual de la CCC es quizás la mayor problemática para su conservación, debido a que ocasiona la muerte progresiva de los árboles que componen cada introducción.

Dentro del germoplasma de *Coffea*, se consideran las accesiones procedentes de Etiopía como las de mayor importancia, debido a que constituyen la mayor fuente de variabilidad genética para la especie *C. arabica*. Para la estimación de la diversidad genética se tuvo en cuenta el número de introducciones perdidas y el número de árboles muertos dentro de cada introducción.

En la CCC, inicialmente se observa una pérdida del 6,3% de entradas registradas en el libro de la CCC (sin contabilizar las recolecciones de Típica), sumado a un 1,15% que en su momento fueron retiradas por no presentar interés para la Disciplina de Mejoramiento Genético. Dentro del grupo de introducciones perdidas se encuentran nueve

**Tabla 30.** Accesiones conservadas en la Colección Colombiana de Café.

a. Introducciones	No. Accesiones
1. Silvestres, semisilvestres o cultivadas en el centro de origen y diversidad	586
2. Selecciones de <i>C. arabica</i>	213
3. Líneas introgresadas derivadas de híbridos interespecíficos	25
4. Especies diploides e híbridos interespecíficos	147
5. Mutantes y otros genotipos seleccionados	60
b. Selecciones	
1. Selecciones dentro de las Introducciones	797
2. Cruzamientos Intervarietales (H1000)	62
3. Cruzamientos por fuentes de resistencia <i>C. arabica</i> (H2000)	195
4. Cruzamientos con el Híbrido de Timor (H3000)	830
5. Híbridos Interespecíficos (H4000)	542
6. Otros	152

introducciones de especies diploides: una de *C. travancorensis*, dos de *C. congensis* y seis de *C. eugenioides*. Considerando la edad de los árboles, aunque la pérdida de introducciones es baja, es superior a la reportada para el banco de germoplasma del CATIE (3,6%).

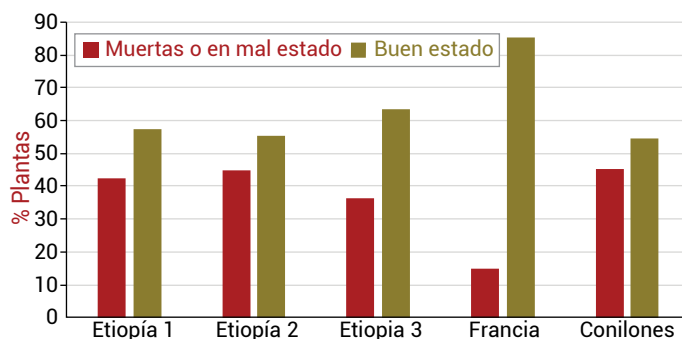
En la actualidad, en promedio el 27% de las plantas que conforman los lotes de mayor relevancia en términos de diversidad genética han muerto, y un 10% están en peligro a causa de su condición (Figura 51). El estado varía de un lote a otro, siendo los más críticos los Etiopía 1 y 2, y conilonos (> 40% de plantas muertas o en mal estado) y el menor el lote Francia (<15% de plantas muertas o en mal estado).

El mantenimiento de diez plantas por introducción es una buena estrategia de conservación, debido a que representa adecuadamente la variabilidad existente en la población. Por lo tanto, con el objetivo de medir las pérdidas de recursos genéticos en la CCC, se determinó el número de plantas (originalmente establecidas) muertas a través del tiempo, así como los individuos que permanecen en la actualidad. Este análisis es particularmente importante debido a que puede ser un buen indicador para la estimación de la erosión genética en el banco de germoplasma. Por tal motivo, se analizaron los lotes que

contienen las introducciones procedentes de Etiopía, así como las introducciones de *C. canephora*, considerados como los de mayor diversidad genética y que representan más del 50% de la composición de la CCC. Adicionalmente, por la forma en que fueron recibidas (plántula o semilla), cada planta podría ser considerado un genotipo particular, y este parámetro puede servir como una línea base de la diversidad existente. Observaciones realizadas resaltan la alta variabilidad dentro de los genotipos de este origen, hecho que es de esperar, por ser éste su centro de origen. Caracterizaciones fenotípicas realizadas en algunos genotipos sugieren que éstas probablemente provienen de plantas altamente heterocigotas.

Dentro de los lotes analizados, se encontró que entre 1998 y 2017, se ha perdido el 49,6% de los árboles establecidos originalmente (Figura 52). Este hecho toma mayor relevancia, si se considera que en promedio la mitad de las plantas habían sido ya renovadas por semilla de polinización abierta, en el período 1991 – 1995; por ejemplo, en el lote denominado Etiopía 1, el 58,0% del total de plantas fueron renovados por este medio durante este período.

La Figura 52 permite concluir una erosión genética progresiva a medida que aumenta el tiempo de conservación, teniendo como parámetro la muerte



**Figura 51.** Estado de plantas en los lotes que contienen los genotipos producto de las Prospecciones de FAO y ORSTOM en Etiopía, y algunas introducciones diploides.

de plantas que fueron recibidas originalmente, y que constituyen la diversidad genética disponible. A pesar de que se realizan constantes intervenciones, éstas no están encaminadas a evitar la pérdida de las plantas, y no permiten la adecuada renovación de las accesiones. Este hecho ha conducido a una posible reducción de la diversidad genética intra-accesión, perdiendo quizás genes y genotipos de interés.

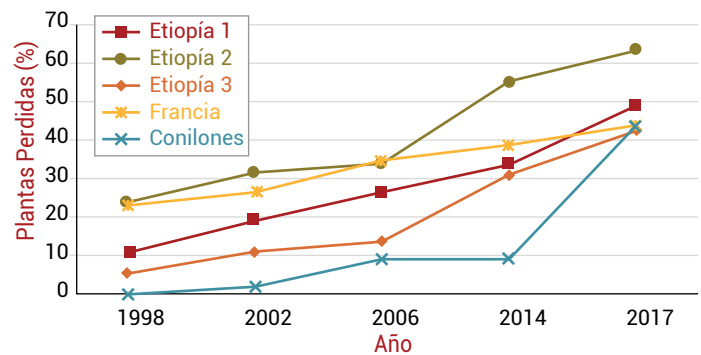
En los lotes que contienen las introducciones producto de la prospección de la FAO, la posibilidad de pérdida de diversidad tiende a aumentar a través del tiempo, debido a la edad misma de las plantas. La revisión del estado actual demuestra que 137 de ellas (34,5%) está representada por cinco o menos árboles en buen estado, siendo de esta manera prioritarios para su conservación. Así mismo, existe un grupo de 22 introducciones que se encuentran representadas por una o dos plantas, aunque la posible pérdida de diversidad en algunos casos es irreversible, deberán tener un trato especial, para la programación de actividades que procuren su conservación.

La estimación de la diversidad genética perdida en la historia de la CCC es difícil de determinar, debido a que no existe un punto de partida para hacerlo. No obstante, la erosión genética ocasionada por la pérdida de árboles originalmente establecidos, la cual es superior al 50%, hace un llamado de atención a tomar medidas de renovación que limiten la pérdida de diversidad.

### Establecimiento de una muestra representativa de la Colección Colombiana de Café

#### Genoma de *C. arabica* variedad Caturra.

Como resultado de trabajos colaborativos entre Cenicafé y la Universidad de Cornell (NY, USA) se obtuvo el primer borrador del genoma del *Coffea arabica* variedad Caturra. Las pseudomoléculas ensambladas se generaron por un modelo de ensamblaje mixto, realizado por el doctor Aleksey Zimin de la Universidad de Maryland, quien utilizó el programa MaSuRCA (*Maryland Super Read Cabog Assembler*) para integrar datos de secuenciación de tecnología PacBio, Illumina y 10X Genomics. La secuencia fue ordenada en scaffolds al integrar medidas físicas de señales en la cromatina mediante la técnica Dovetail HiRise, así como el mapa genético de *C. arabica*. La versión actual del genoma contiene 22 pseudomoléculas, 11 para cada uno de los sub-



**Figura 52.** Porcentaje de plantas originalmente sembradas, perdidas entre 1998 y 2017, en los lotes que contienen los genotipos producto de las Prospecciones de FAO, ORSTOM en Etiopía y algunas introducciones diploides.

genomas del alotetraploide, correspondientes a los ancestros *C. eugenioides* y *C. canephora*. El tamaño calculado del genoma por métodos bioinformáticos es de 1.100 Mb, el 99,5% de ese tamaño del genoma pudo ser ensamblado y el 90,47% anclado a cromosomas con un tamaño total de 497,66 Mb para el sub-genoma *C. canephora* y 490,32 Mb para el sub-genoma *C. eugenioides*. El N50 del tamaño de los *contigs* del ensamblaje es de 3,91 Mb, que muestra la gran calidad de los datos. Al analizar qué tan completo está el genoma por búsqueda de genes ortólogos completos mediante el programa BUSCO, se encontró el 94,2% de los genes, ratificando la calidad del genoma actual. Actualmente, se está haciendo el mapa óptico de la especie a través de BioNano, lo cual mejorará el ensamblaje. Paralelamente, se adelanta la integración de la secuencia con el mapa físico desarrollado a partir de la librería BAC de la misma accesión.

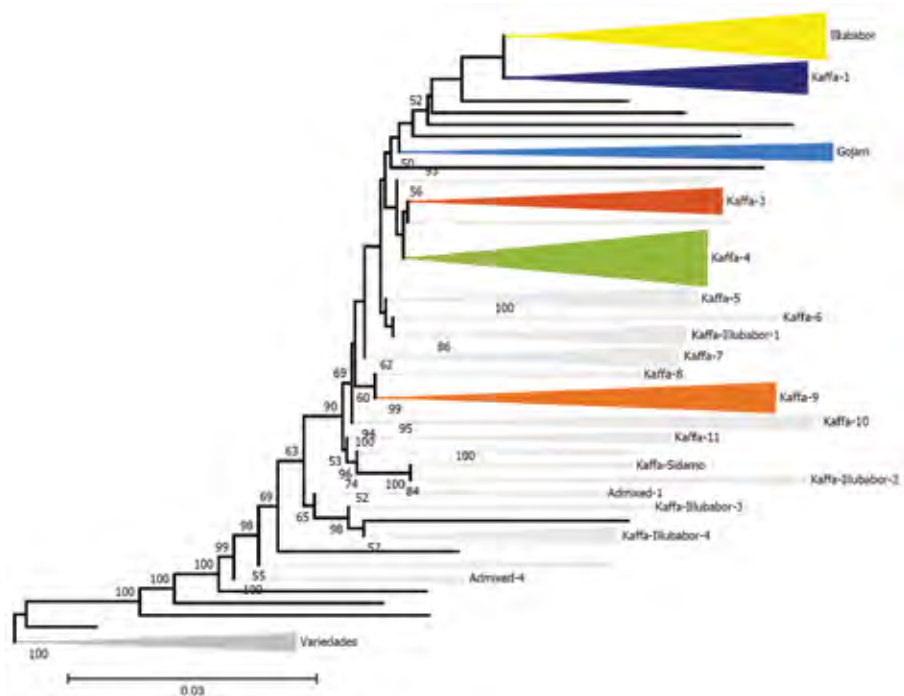
#### Establecimiento de la colección núcleo de la Colección Colombiana de Café.

El genoma de *C. arabica* se utilizó como secuencia de referencia para la evaluación de la diversidad genética de una muestra representativa de la Colección Colombiana de Café. Se seleccionaron 190 individuos de *C. arabica*, entre Etiopes (provenientes de las provincias de Kafa, Gojam, Illubabor y Sidamo) y variedades, los criterios de selección fueron: A). Distribución uniforme en el dendrograma construido a partir de bases de datos de genotipificación de 29 microsatélites; B). Que tuvieran datos de fenotipificación; C). Componentes de la Mini-Core de café. Los individuos se genotipificaron por la técnica GBS (Genotyping By Sequencing), utilizando dos enzimas de restricción y se secuenciaron mediante la tecnología Illumina (PE 2x150). Por medio del programa NGSEP se analizó el mapeo

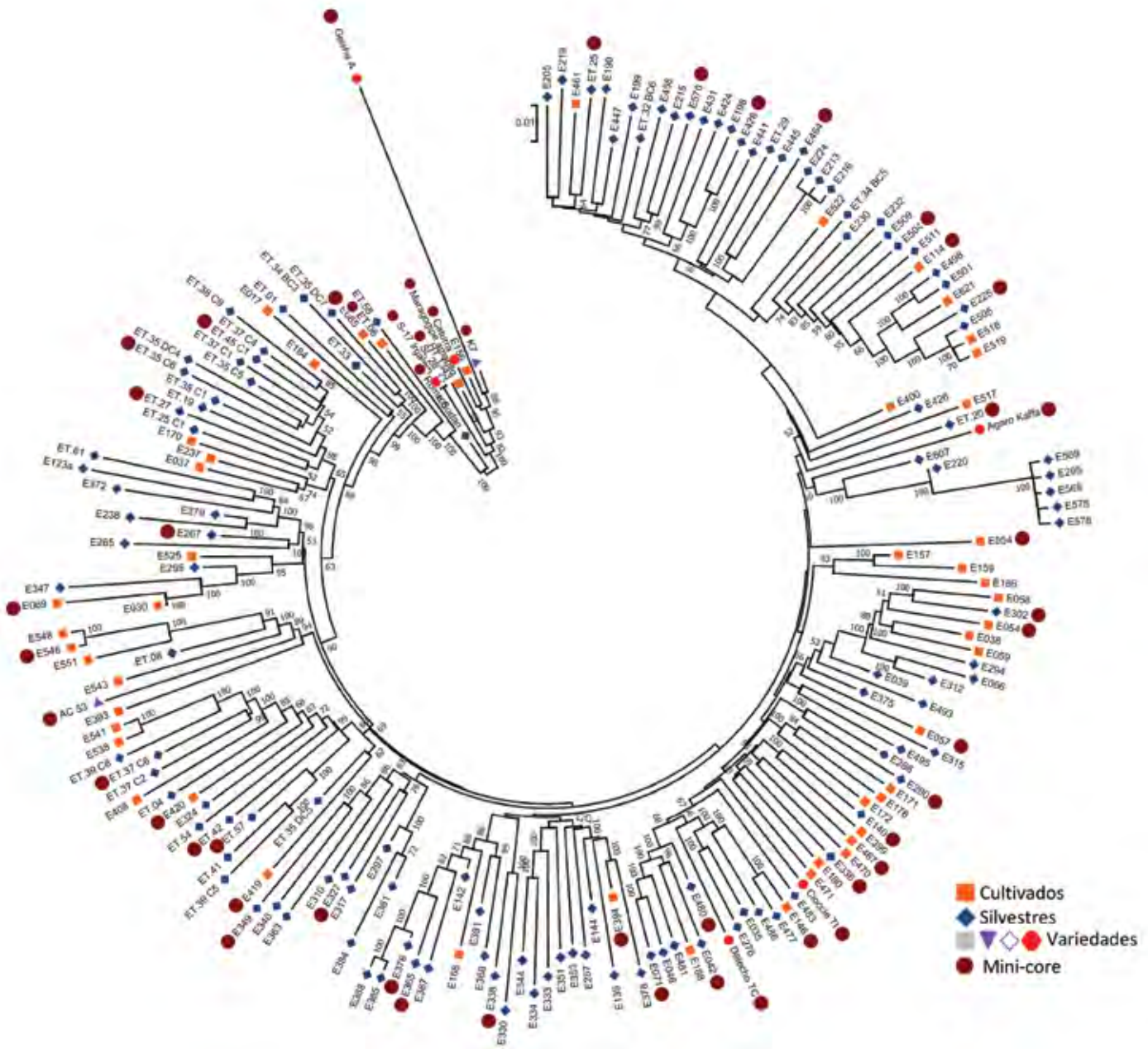
de las secuencias cortas sobre los 22 cromosomas del genoma de *C. arabica*. Se encontraron 1.261.806 variantes, de ellas 1.150.454 son SNPs dialélicos. Este último grupo se filtró eliminando locus con más de 20% de datos perdidos, alelos con frecuencia inferior a 0,026 y con una distancia mínima de 500 bp entre marcadores, dando una matriz de 39.979 SNPs, para 190 muestras. Se realizaron análisis de agrupamiento filogenéticos por medio del algoritmo Neighbor joining, a partir de distancia genéticas calculadas por máxima verosimilitud compuesta con bootstrap de 500 réplicas, utilizando el programa MEGA7 (Figuras 53 y 54), y se determinó la estructura de poblaciones por medio del programa Admixture (Figura 55). Se encontró estructura de poblaciones en la muestra, con siete poblaciones ancestrales, siendo el valor K con el menor error de validación cruzada, y que presentó valores de coeficiente de diferenciación  $F_{st}$  entre 0,165 y 0,487, lo que indica de media a alta diferenciación. Se integró la información de georreferenciación de la recolección de las muestras con la estructura de poblaciones. Se observó relación entre el origen de las muestras, la estructura de poblaciones y el agrupamiento filogenético (Figuras 53, 54 y 55). El grupo que mostró mayor diferenciación es el de las variedades, con valores de  $F_{st}$  entre 0,291 a 0,387, seguido de Gojam, con  $F_{st}$  entre 0,213 a 0,472, este último grupo presenta la mayor distancia geográfica. Los resultados sugieren incluir muestras de Gojam dentro de la Mini-Core y muestran la utilidad de genotipificar la colección completa, para tomar decisiones de manejo

y de utilización de recursos genéticos tras asociar características genotípicas con fenotípicas, para lo cual es fundamental conocer la estructura de poblaciones de todas las muestras de la especie.

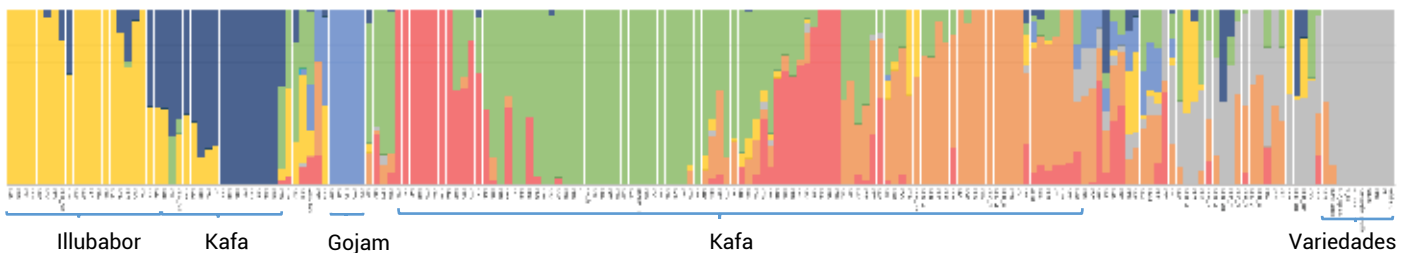
**Identificación de accesiones de *Coffea arabica* tolerantes a déficit y exceso hídrico.** En Colombia, la producción de café disminuye por condiciones asociadas directa o indirectamente con los eventos de La Niña, los cuales alternan con los eventos de El Niño. Para mitigar estos fenómenos, en la Disciplina de Mejoramiento Genético se están evaluando introducciones de la Colección Colombiana de Café en la búsqueda de genotipos tolerantes a estrés hídrico. En el periodo 2017 se llevó a cabo un ensayo con la finalidad de definir los tratamientos de estrés hídrico y su tiempo de aplicación, utilizando el método de olla a presión, para medir la humedad del suelo y la capacidad de campo, con esta información se estimó la masa de suelo húmedo a capacidad de campo (riego normal, 60% de humedad) y la masa del suelo húmedo a 50% de la capacidad de campo (déficit hídrico, 30% de humedad). Se aplicaron los tratamientos a tres introducciones Etiópicas que previamente mostraron tolerancia a déficit hídrico (E.177, E.480 y ET.56) y la variedad comercial Típica, testigo susceptible, bajo un diseño completamente al azar con 20 repeticiones. Se midieron las variables de interés: peso seco del tallo, peso seco de la raíz y el peso seco total (biomasa) a los 0, 2, 3, 4 y 5 meses de aplicación de los tratamientos. Se estimó el promedio de las variables de interés por introducción y su respectivo testigo. Semanalmente, se midió la humedad



**Figura 53.** Análisis filogenético de 190 accesiones de la Colección Colombiana de Café. Los grupos coloreados corresponden a clados que contienen individuos puros, para cada una de las poblaciones ancestrales (K) del modelo de estructura de poblaciones  $K=7$ .



**Figura 54.** Análisis filogenético de 190 accesiones de la Colección Colombiana de Café. Agrupamiento por Neighbor joining usando distancias genéticas calculadas por máxima verosimilitud compuesta a partir de 39.979 SNPs con bootstrap de 500 réplicas implementado en el programa MEGA7.



**Figura 55.** Estructura de poblaciones de una fracción representativa de la Colección Colombiana de Café. Modelo de agrupamiento con siete poblaciones ancestrales (K), calculada con 39.979 SNPs bialélicos, por medio del programa Admixture.

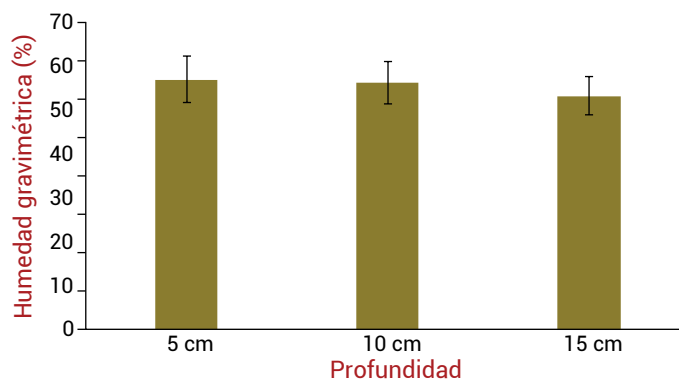
gravimétrica de seis plantas seleccionadas aleatoriamente a los 5, 10 y 15 cm de profundidad, para asegurar que las plantas se mantuvieran en la humedad definida para cada tratamiento en todo el volumen de suelo.

El análisis de varianza de la humedad gravimétrica de plantas de las cuatro accesiones sometidas al tratamiento control con riego normal (60% humedad del suelo) mostró que la humedad gravimétrica a 15 cm de profundidad fue significativamente menor que la humedad a los 5 y 10 cm; sin embargo, el promedio de la humedad gravimétrica para las tres profundidades estuvo entre el 53% y el 56%, lo cual demostró que las plantas sometidas a riego normal se mantuvieron a capacidad de campo (60% de humedad), durante los cinco meses de la aplicación del tratamiento control (Figura 56). El análisis de varianza de la humedad gravimétrica de plantas, de las cuatro accesiones bajo déficit hídrico, no mostró diferencias significativas entre las profundidades de 5, 10 y 15 cm, con un promedio de humedad gravimétrica entre 29% al 30%, evidenciando que las plantas estuvieron al 50% de la capacidad de campo en el tratamiento de déficit hídrico, con una humedad del suelo de 30% (Figura 57).

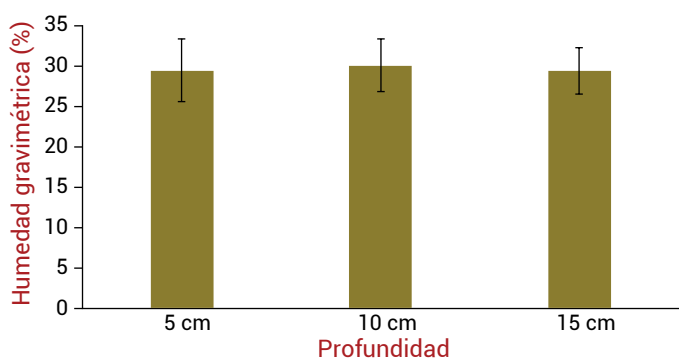
El análisis de varianza no mostró diferencias en el peso seco del tallo de las tres introducciones Etiópicas, cuando se sometieron entre 0 a 3 meses de déficit hídrico (Figura 58). La introducción E.480 disminuyó el peso seco del tallo cuando el déficit hídrico fue de 4 a 5 meses; mientras que las introducciones E.177 y ET.56 solo redujeron el peso seco del tallo cuando el déficit hídrico fue de 5 meses. En contraste, la variedad Típica disminuyó el peso seco del tallo a partir de 3 meses de déficit hídrico (Figura 58). El análisis de varianza mostró que el peso seco de las hojas de la variedad Típica disminuyó a partir de 2 meses bajo déficit hídrico, mientras que el peso seco de las hojas de la introducción ET.56 se redujo a partir del tercer mes de estar sometida a déficit hídrico. Por su parte las introducciones E.177 y E.480 disminuyeron el peso seco de las hojas con un déficit hídrico de 4 a 5 meses. El análisis de varianza no mostró diferencias en el peso seco de la raíz de las tres introducciones Etiópicas (E.480, ET.56 y E.177), cuando estuvieron bajo el déficit hídrico de 0 a 3 meses. La introducción E.177 redujo el peso seco de la raíz a partir de 4 meses de déficit

hídrico, mientras que las introducciones E.480 y ET.56 solo redujeron el peso seco de la raíz con 5 meses de déficit hídrico. En contraste, la variedad Típica redujo el peso seco de la raíz a partir de 3 meses bajo déficit hídrico. El análisis de varianza no mostró diferencias en el peso seco total de las tres introducciones Etiópicas (E.480, ET.56 y E.177) sometidas a riego normal y déficit hídrico durante 0 a 3 meses (Figura 59); sin embargo, a partir del cuarto mes bajo déficit hídrico, las tres introducciones redujeron el peso seco total. Por el contrario, la variedad Típica disminuyó el peso seco total a partir de 3 meses bajo déficit hídrico (Figura 59).

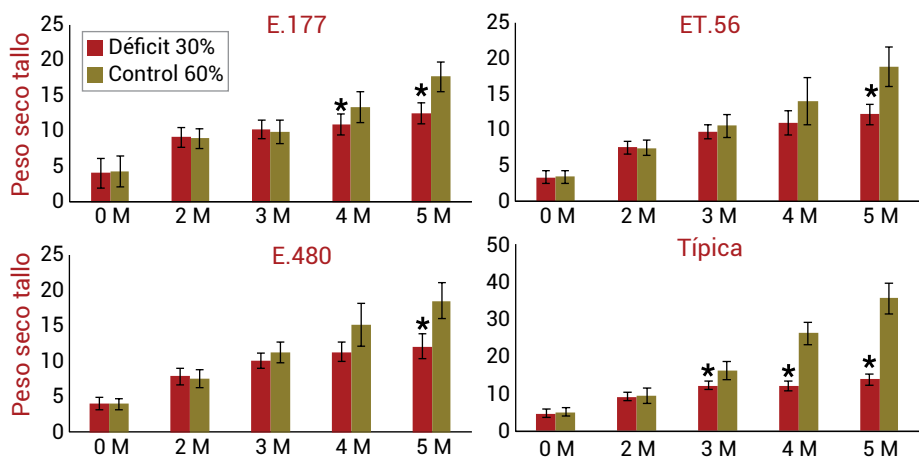
Se encontró que las tres introducciones Etiópicas (E.480, ET.56 y E.177) sometidas a cuatro meses de déficit hídrico redujeron la biomasa entre 21% a 24% (Figura 59) y cuando el déficit fue de cinco meses la reducción de biomasa estuvo entre 30 a 35%. En contraste, la variedad Típica susceptible a déficit hídrico mostró una reducción de 52% cuando el déficit fue de cuatro meses y de 59% con cinco meses de déficit (Figura 59).



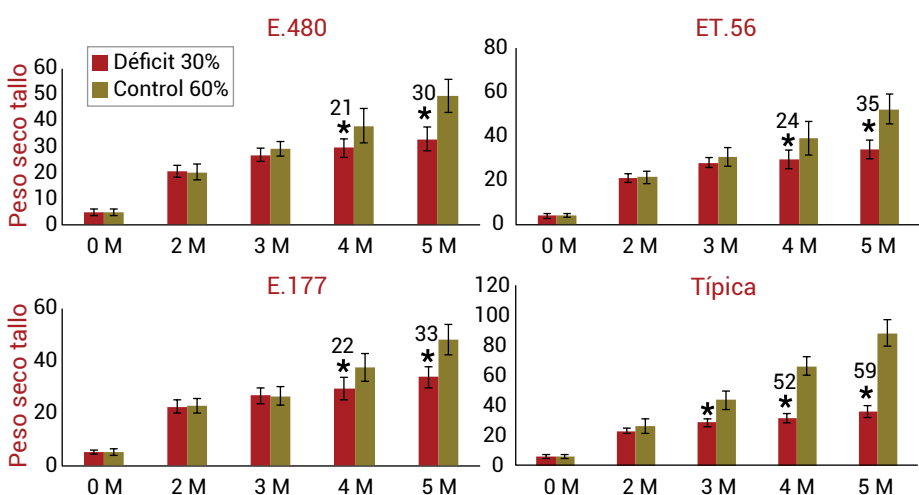
**Figura 56.** Humedad gravimétrica (%) de las plantas sometidas a riego normal (60% humedad) a 5, 10 y 15 cm de profundidad.



**Figura 57.** Humedad gravimétrica (%) de las plantas sometidas a déficit hídrico (30% humedad) a 5, 10 y 15 cm de profundidad.



**Figura 58.** Promedio del peso seco del tallo (g) de cuatro accesiones (E.480, E.177, ET.56 y Típica), sometidas a riego normal y déficit hídrico, durante 0 a 5 meses.



**Figura 59.** Promedio del peso seco total (g) de cuatro accesiones (E.480, E.177, ET.56 y Típica) sometidas a riego normal y déficit hídrico, durante 0 a 5 meses.

Se definió un método confiable para la evaluación de accesiones por tolerancia al déficit hídrico, tomando la biomasa total como variable de respuesta, la aplicación de los tratamientos durante cinco meses y la medición de la humedad gravimétrica para garantizar que las plantas sometidas a déficit hídrico se mantienen a 30% humedad y las plantas control a 60%.

**Desarrollo y evaluación de poblaciones con menor oviposición de la broca.** Previamente se realizó la evaluación de la Colección Colombiana de Café en la búsqueda de genotipos resistentes a la broca, encontrándose algunas introducciones Etiópicas en la que se presentó una menor oviposición con relación a la variedad Caturra.

Con el objetivo de obtener una variedad de café con menor oviposición de broca que se incorpore en un programa de manejo integrado de este insecto, se realizaron cruzamientos entre líneas de Variedad Castillo® (CX.2710, CX.2178, CX.2848, CU.1812) y las introducciones Etiópicas con menor oviposición (E.554,

E.476 y E.483). Los híbridos F1 con menor oviposición por broca se avanzaron a la generación F2. A la fecha, se evaluaron 296 progenies bajo un diseño completamente al azar, utilizando como unidad experimental un vial con un grano de café pergamino (40% de humedad) infestado por una hembra. Se utilizaron 80 repeticiones; registrándose a los 28 días el número total de estados vivos.

Para cada progenie se estimó el promedio y la desviación estándar del total de estados (huevos, larvas, prepupas, pupas y adultos). Cuando el análisis de varianza mostró diferencias entre progenies se comparó mediante la prueba de *Dunnnett* el promedio de estados de las progenies con respecto de la variedad Caturra (testigo susceptible).

Se hallaron diferencias significativas en ocho ensayos:

- 32 progenies F2 redujeron los estados totales de broca entre 13% a 33% con relación a la variedad Caturra (Tabla 31), así: 13 progenies del cruce CX.2848 x E.483 (Figura 60), ocho progenies de CX.2710 x E.554 (Figura 61), cinco progenies de CX.2178 x E.476 (Figura 62), tres progenies de CU.1812 x E.554 y tres progenies de CX.2391 x E.483 (Figura 63).
- 21 progenies disminuyeron el número de adultos de broca entre 22% y 50% con respecto a la variedad Caturra (Tabla 31), así: diez progenies del cruce CX.2848 x E.483, siete progenies de CX.2710 x E.554, tres progenies de CX.2178 x E.476 y una progenie de CU.1812 x E.554.



- Tres progenies redujeron el número de prepupas entre 24% y 27% con respecto a la variedad Caturra: dos progenies del cruce CX.2710 x E.554 y una progenie de CX.2178 x E.476.
- Cinco progenies disminuyeron el número de pupas entre 17% y 28% con relación a la variedad Caturra: dos del cruce CX.2848 x E.483, dos progenies del cruce CX.2178 x E.476 y una progenie del cruce CU.1812 x E.554.
- Una progenie del cruce CX.2848 x E.483 mostró menor número de larvas con respecto a la variedad Caturra con el 26,47%.

Estos resultados muestran que el mayor número de progenies con menor oviposición por broca provienen del cruce de CX.2848 x E.483. Además, ocho progenies adicionales de las 32 que redujeron el número de estados totales, disminuyeron el número de adultos (441, 450, 369, 339, 101, 111, 98, 273).

### Desarrollo y evaluación de poblaciones con resistencia a CBD (*Colletotrichum kahawae*).

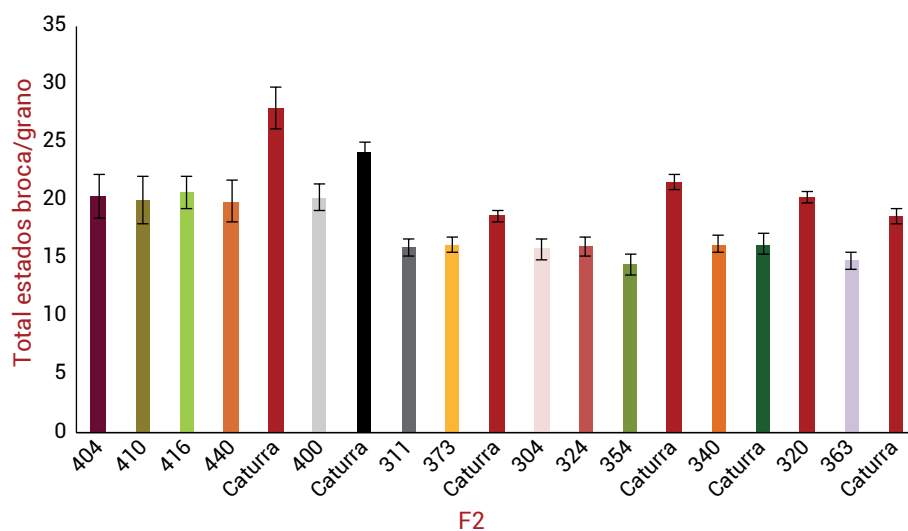
El objetivo de este proyecto es desarrollar poblaciones con diferentes fuentes de resistencia a la enfermedad de las cerezas del café y evaluarlas por características agronómicas, con el fin de avanzar en generaciones y desarrollar una variedad resistente a la roya y al CBD. Es importante anotar que se inició en este proyecto la selección asistida por marcadores, con el fin de identificar las plantas que contienen el gen T de resistencia a CBD. Esto es posible debido a que se dispone del marcador CMA276 (SAT235), que está

ligado a este gen T. Durante este período se evaluaron con el marcador SAT235 las plantas seleccionadas en los experimentos MEG0311, MEG0312, MEG0313, MEG0314 y MEG0315. Las progenies de las plantas que mostraron el gen en forma homocigota dominante se sembraron en pruebas regionales, en tres localidades: Estaciones Experimentales Paraguaicito, El Tambo y Naranjal (MEG102012). Las progenies heterocigotas se sembraron en la Estación Naranjal (MEG102014) (Figura 64). Estas progenies deben ser evaluadas planta a planta, con el fin de identificar aquellas homocigotas dominantes.

**Desarrollo de poblaciones a partir de cruzamientos interespecíficos.** El proyecto de investigación de hibridación interespecífica tiene por objetivo el desarrollo de líneas productivas, de buenas características agronómicas y resistentes a la roya, originadas a partir de cruzamientos entre la variedad Caturra de *C. arabica* y selecciones de introducciones de *Coffea*

*canephora* (que se encuentran en la CCC), las cuales han sido retrocruzadas una (RC1) o dos (RC2) veces, a la variedad Caturra o a otras variedades, o a líneas componentes de variedades de *C. arabica* ((Caturra x *C. canephora*) x Caturra). Actualmente, se tienen progenies de estos retrocruzamientos en diferentes generaciones. En este informe se presenta el resumen de la evaluación y selección realizadas en las progenies F4RC1 (MEG 0667).

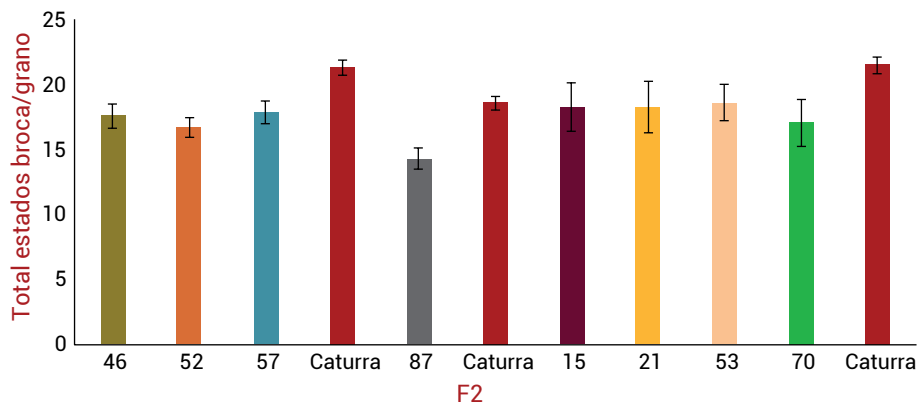
Para seleccionar las mejores plantas y avanzar la próxima generación, se evaluaron 45 progenies F4RC1 de (Caturra X *C. canephora*) x Caturra, de plantas seleccionadas por su resistencia a la roya, su producción, altura y características de grano. Estas progenies fueron sembradas en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Chinchiná, Caldas), en un diseño completamente al azar con dos repeticiones. La unidad experimental fue un surco de 12 plantas, de las cuales diez fueron efectivas. La distancia entre plantas fue de



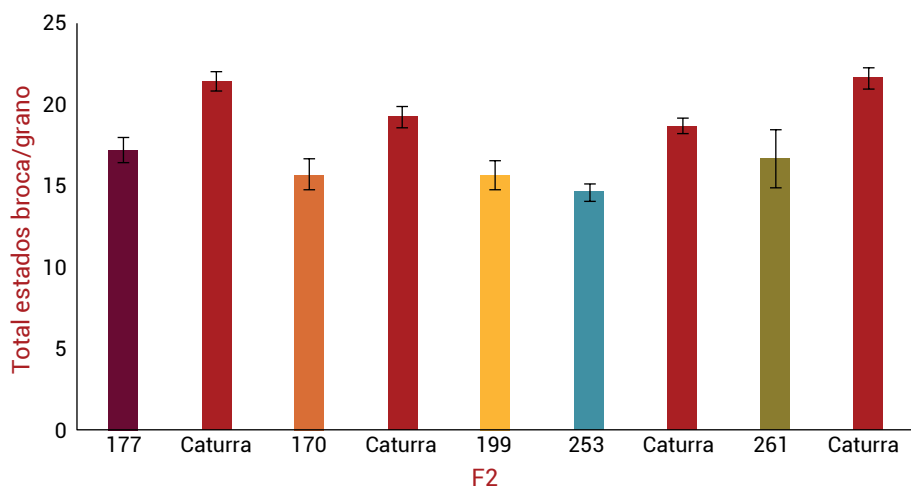
**Figura 60.** Progenies F2 del cruce de la Variedad Castillo® CX.2848 x E.483 con menor número de estados totales de broca con relación a la variedad Caturra.

**Tabla 31.** Progenies F2 del cruce de la Variedad Castillo® x las introducciones Etiopes, con menor número de estados totales de broca que la variedad Caturra, Prueba de Dunnett.

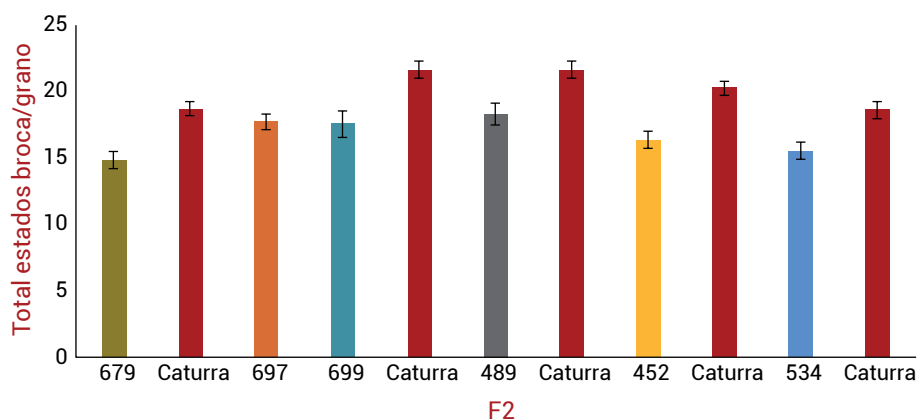
Fecha	F2	Diferencia entre medias	Límite de confianza 95%	≠ Caturra
1/03/2017	416-Caturra	-7.241	-14.175 -0.307 ***	2,93
1/03/2017	404-Caturra	-7.548	-14.643 -0.453 ***	27,01
1/03/2017	410-Caturra	-7.951	-15.238 -0.664 ***	28,47
1/03/2017	440-Caturra	-8.055	-15.242 -0.868 ***	28,83
5/04/2017	57-Caturra	-3.4025	-6.5880 -0.2169 ***	15,90
5/04/2017	46-Caturra	-3.7012	-6.6594 -0.7429 ***	17,31
5/04/2017	177-Caturra	-4.1901	-7.1183 -1.2618 ***	19,60
5/04/2017	52-Caturra	-4.6346	-7.6766 -1.5927 ***	21,66
11/05/2017	400-Caturra	-3.879	-7.707 -0.052 ***	16,09
17/05/2017	170-Caturra	-3.5570	-6.8638 -0.2501 ***	18,53
1/06/2017	373-Caturra	-2.5342	-5.0080 -0.0603 ***	13,56
1/06/2017	311-Caturra	-2.8336	-5.3766 -0.2906 ***	15,17
1/06/2017	199-Caturra	-3.0382	-5.5386 -0.5378 ***	16,29
1/06/2017	679-Caturra	-3.8458	-6.2945 -1.3971 ***	20,58
1/06/2017	253-Caturra	-4.0729	-6.4862 -1.6596 ***	21,81
1/06/2017	87-Caturra	-4.2908	-6.8967 -1.6849 ***	22,99
7/06/2017	53-Caturra	-2.9071	-5.8023 -0.0119 ***	13,43
7/06/2017	21-Caturra	-3.2568	-6.0450 -0.4685 ***	15,05
7/06/2017	15-Caturra	-3.2613	-6.0688 -0.4537 ***	15,1
7/06/2017	489-Caturra	-3.2927	-6.3447 -0.2407 ***	15,24
7/06/2017	697-Caturra	-3.8578	-7.2426 -0.4729 ***	17,83
7/06/2017	699-Caturra	-4.0663	-7.1183 -1.0143 ***	18,81
7/06/2017	70-Caturra	-4.4304	-7.2906 -1.5702 ***	20,52
7/06/2017	261-Caturra	-4.9400	-7.9596 -1.9205 ***	22,88
7/06/2017	324-Caturra	-5.6354	-8.7592 -2.5117 ***	26,08
7/06/2017	304-Caturra	-5.8495	-8.9362 -2.7628 ***	27,05
7/06/2017	354-Caturra	-7.1446	-10.4731 -3.8161 ***	33,07
14/06/2017	340-Caturra	-4.036	-7.630 -0.441 ***	19,97
14/06/2017	420-Caturra	-4.054	-4.054 -8.047 ***	20,02
14/06/2017	452-Caturra	-3.905	-6.853 -0.957 ***	19,32
29/06/2017	534 -Caturra	-3.092	-6.144 -0.039 ***	20,59
29/06/2017	363 -Caturra	-3.826	-6.996 -0.657 ***	16,61



**Figura 61.** Progenies F2 del cruce de la Variedad Castillo® CX.2710 x E.554 con menor número de estados totales de broca con relación a la variedad Caturra.



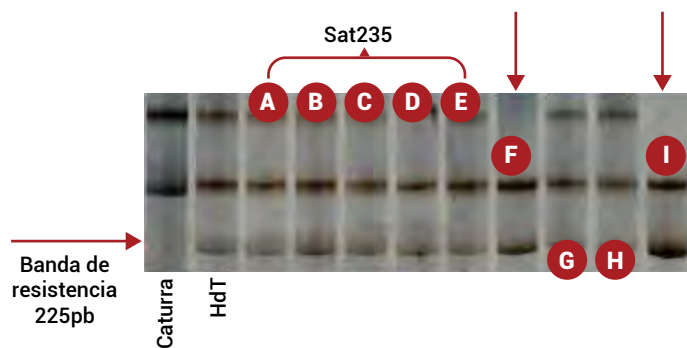
**Figura 62.** Progenies F2 del cruce de la Variedad Castillo® CX.2178 x E.476 con menor número de estados totales de broca con relación a la variedad Caturra.



**Figura 63.** Progenies F2 del cruce de la Variedad Castillo® CU.1812 x E.554 y Castillo® CX.2391 x E.483 con menor número de estados totales de broca con relación a la variedad Caturra.

1,0 m, y entre surcos de 1,4 m. Como testigos susceptibles a la roya (*Hemileia vastatrix*), se sembraron las variedades Caturra y San Bernardo, y como resistente la Variedad Castillo®. Estas progenies fueron evaluadas durante 4 años por características tales como altura de la planta (24 meses), roya (incidencia mediante la escala de Eskes y Toma-Braghini), producción (4 años), la frecuencia de frutos vanos, caracol y proporción de grano supremo. Para el análisis de la información se obtuvo la calificación máxima de roya por planta y su distribución de frecuencia por progenie, lo que permitió conocer las progenies más resistentes. Para las características cuantitativas, se hizo análisis de varianza de acuerdo con el diseño y cuando las diferencias fueron significativas, los promedios de las progenies fueron comparadas con la Variedad Castillo®, por medio de la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub>.

El 75% de las plantas no mostró roya en el experimento. Entre las progenies, la mayoría tuvieron más del 50% de las plantas sin roya. Hubo progenies muy resistentes como las MEG0652.136, MEG0652.222, MEG0652.28, en las que solo una o dos plantas mostraron roya, con calificación máxima de 1. No hay muchas progenies para descartar por este carácter. La altura promedio de las progenies en el experimento fue de 151 cm, similar a la de la Variedad Castillo® (151 cm) y Caturra (153 cm). El análisis de varianza fue altamente significativo entre progenies ( $p < 0,001$ ) pero la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub> no mostró diferencias entre la Variedad Castillo® y las progenies evaluadas.



**Figura 64.** Resultados de amplificación con el marcador Sat235 (gel de acrilamida al 6%). Se observa el control negativo variedad Caturra, que no presenta el marcador (homocigoto recesivo), luego el control positivo, Híbrido de Timor (heterocigoto), luego plantas del MEG.0313 A: 99, B: 202, C: 340, D: 573, E: 608 y MEG.03 14 G: 860 y H: 920, que son genotipos heterocigotos; las plantas MEG.03 14 F: 767 e I: 926 que son genotipos homocigotos dominantes.

El promedio de frutos vanos del experimento fue de 7,8%, similar al de los progenitores y ligeramente menor que el de la Variedad Castillo® (8,1%). El análisis de varianza fue altamente significativo ( $p < 0,0001$ ), y la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub> mostró diferencias significativas para las progenies MEG0652.496, MEG0652.110 y MEG0652.337 tuvieron mayor vaneamiento que la Variedad Castillo®.

El promedio de granos caracol fue de 15,2% similar al de los progenitores y mayor que el de la Variedad Castillo® (9,1%). El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre progenies ( $p < 0,0001$ ), y con la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub>, se encontró que 19 progenies, entre ellas las MEG0652.496, MEG0652.110 y MEG0652.336, eran superiores a la Variedad Castillo®.

El porcentaje de café supremo del experimento fue del 60%, similar al de los progenitores (66%), inferior al de la Variedad Castillo® (78 %) y superior al de la variedad Caturra (45%). El tamaño de grano de estas progenies está más cerca de las variedades de *C. arabica*, que de *C. canephora*. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre progenies ( $p < 0,0001$ ), y con la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub>, se encontró que 20 progenies, entre ellas la MEG0652.136 (78,5%), eran estadísticamente iguales al testigo.

Se observó que el promedio anual fue de 2,4 kg de café cereza (cc) por planta (equivalente a 273 @.ha<sup>-1</sup> de cps). La mayor producción se obtuvo el primer año de cosecha, 3,0 kg/planta de

café cereza (343@.ha<sup>-1</sup> de cps), y luego declinó ligeramente los siguientes dos años, 2,4 y 2,3 kg/planta de café cereza, respectivamente (276 y 263 @.ha<sup>-1</sup> de cps) y más acentuado el cuarto año, 1,9 kg/planta de café cereza (211 @.ha<sup>-1</sup> de cps). La producción de la Variedad Castillo® estuvo en el promedio, con 2,3 kg/planta de café cereza (263 @.ha<sup>-1</sup> de cps), mientras que la variedad Caturra, afectada por la roya tuvo una menor producción de 1,9 kg/planta de café cereza (217 @.ha<sup>-1</sup> de cps). La variedad San Bernardo fue la de menor producción. Los análisis de varianza hechos para cada uno de los años y para el promedio de los cuatro, fueron altamente significativos ( $p = 0,0027$ ). No obstante, la prueba de Dunnett<sub>0,05</sub> no mostró diferencia para alguna de las progenies con la Variedad Castillo®, en alguno de los años, ni en el promedio.

Se utilizó una intensidad de selección del 16% entre progenies, la cual es alta, considerando que dentro de ellas se hará selección entre plantas, tres a cinco por progenie. Se seleccionaron las siguientes progenies: MEG0652.135, MEG0652.133, MEG0652.114, MEG0652.483, MEG0652.488, MEG0652.140 y MEG0652.93, que además de su resistencia a la roya, tienen como promedios por progenie: altura de planta a los 24 meses, 153 cm, granos caracol 11,2%, tamaño de grano, 72% de café supremo y producción de 288 @.ha<sup>-1</sup> de cps, en cuatro años. Las progenies F5RC1 de las plantas seleccionadas serán evaluadas en ensayos regionales.

**Evaluación de poblaciones con resistencia a roya, derivadas del Híbrido de Timor.** En Colombia, la Disciplina de Mejoramiento Genético de Cenicafe ha liberado cuatro variedades, basadas en fondos genéticos similares: Caturra, Borbón o Típica como variedad base, y el Híbrido de Timor 1343 como donante de los genes de resistencia. La utilización de esta fuente de resistencia a la roya en la obtención de cultivares ha sido usada también en Brasil y en Centroamérica.

Teniendo en cuenta que los genes provenientes del Híbrido de Timor no garantizarían de manera permanente una solución al manejo de la enfermedad, a pesar de estar vigentes, después de más de 30 años, se planteó la evaluación de otras fuentes de resistencia. Por tal motivo, a principios de la década de 1990 se inició el desarrollo de variedades con fondos genéticos de resistencia, diferentes a los provenientes del Híbrido de Timor.

En el proyecto MEG02.00 se evaluó el progreso de la roya y la defoliación en períodos de alta epidemia, en dos tipos de materiales: 1. Selecciones hechas por excelentes características agronómicas y definitivamente susceptibles a la raza II o a otras razas prevalentes en el campo; y 2. Selecciones del banco de germoplasma. Las observaciones realizadas permitieron identificar diferencias del progreso de la enfermedad con respecto a la variedad Caturra, donde la respuesta a la roya se caracteriza por niveles de incidencia bajos y de lento progreso. Posteriormente, con la identificación de los progenitores se inició la fase de desarrollo de poblaciones con el objetivo de obtener líneas con resistencia genética a la roya, que pudieran ser usadas en la conformación de una variedad.

En la actualidad se evalúan 68 poblaciones F1 (Lote 2015-1), 17 en F2 (Lote 2011-1) y 31 progenies F3 (Lote 2010-5). En el presente informe se presentan los resultados finales del lote 2010-5, en el cual se dio por terminado el registro de la información y se propone la selección de determinadas progenies para avanzar a la siguiente generación.

El lote fue establecido en el año 2010, con un total de 31 progenies y tres testigos (Variedad Castillo®, Caturra y Catuai), bajo un diseño en bloques completos al azar, con diez plantas como unidad experimental y dos repeticiones. Se registró la producción por planta durante cuatro cosechas, altura, número de cruces y diámetro de copa, a los 36 meses de edad, tamaño de grano e incidencia por roya.

Para la medición de esta variable se utilizó la escala de Eskes y Thoma-Braghini, la cual mide la incidencia de la enfermedad, teniendo en cuenta el avance de la misma en cada árbol, durante cuatro años, en los meses de abril y septiembre.

Como criterios de selección de las mejores progenies para ser evaluadas en la siguiente generación, fueron tomadas las siguientes variables: producción acumulada promedio por árbol en un ciclo productivo (cuatro cosechas), altura y diámetro de copa de las plantas a los 36 meses de edad, café almendra retenido en la malla 17/64 (porcentaje de café supremo) y contenido de defectos. Para el caso de la infección por roya, se tuvo en cuenta que la proporción de plantas afectadas por la enfermedad con calificación menor a cuatro, en la escala de campo de Eskes y Thoma-Braghini fuera mayor al 80%.

Para variables cuantitativas se realizó el análisis de varianza, cuando éste mostró que existían diferencias significativas, se compararon por medio de la prueba de Dunnett ( $p=0,05$ ), usando la Variedad Castillo® como testigo (Tabla 32).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $F_{1,33} > 4,8$ ), para las variables de interés producción y altura de la planta. Con relación a la primera, el 96% de las progenies evaluadas presentó promedios iguales o superiores a la Variedad Castillo® (10,6 kg/planta), mientras el 76% fue superior al testigo de mayor producción (Catuai). Para la variable altura de la planta a los 36 meses

de edad, seis progenies (20%) presentan valores promedio mayores a la Variedad Castillo® (Dunnett  $p<0,05$ ), donde tres de ellas pertenecen al grupo de progenies de mayor producción. El 60% de las progenies evaluadas puede ser considerada de arquitectura similar a Caturra, mientras que las demás se caracterizan por tener una copa amplia, alcanzado hasta los 2 m en determinados casos (CR2 2.43-F2 #257).

El tamaño de grano en estas progenies es quizás el factor más limitante, debido a que el 50% de ellas posee grano de tamaño medio, similar al de la variedad Caturra, mientras que solo un 20% puede ser considerado de tamaño grande. Las progenies restantes se caracterizan por poseer grano pequeño, con altos porcentajes de granos caracol (> 15%). De igual manera, un 15% de las progenies presentaron un alto porcentaje de granos vanos (entre 12% y 20%), lo cual indica que deben ser descartadas por esta característica, aunado a que algunas de ellas poseen un contenido de granos caracol considerable y grano pequeño (CR2 2.93-F2 #673, CR2 2.35-F2 #205, CR2 2.35-F2 #183).

Una de las variables de mayor interés y motivo por el cual fueron creadas las poblaciones es su resistencia a la roya. La Tabla 33 permite determinar que 68% de las progenies, de acuerdo al criterio de selección fijado (>80% de plantas con calificación menor a cuatro), pueden ser catalogadas como resistentes.

En total, sobresalen 22 progenies por su comportamiento frente a la roya, las cuales de acuerdo a los progenitores involucrados

**Tabla 32.** Producción promedio por planta (kg de café cereza), altura a los 36 meses de edad (cm), diámetro de copa (cm), porcentaje de café supremo (porcentaje de café verde retenido en la malla 17/64 pulgada) y porcentaje de vanos para las progenies establecidas en el lote 2010-6 (F4).

Tto	Genotipo	Prod. Acum (kg/planta)	Altura (cm)	Diámetro Copa (cm)	Supremo (%)	Vanos (%)
1	CR2 2.98-F2 #12	13,5	203,4	174,2	59,2	5,5
2	CR2 2.98-F2 #28	10,7	204,0*	189,5	19,8*	4,6
3	CR2 2.97-F2 #723	11,3	199,3	178,0	24,8*	5,0
4	CR2 2.97-F2 #731	14,1	204,4	186,5	35,3*	6,5
5	CR2 2.97-F2 #747	12,0	195,0	167,8	30,0*	6,0
6	CR2 2.23-F2 #55	15,0*	178,8	166,5	32,1*	10,0
7	CR2 2.24-F2 #73	15,2*	191,8	171,5	72,1	6,4
8	CR2 2.24-F2 #86	15,6*	207,5*	187,0	35,7	5,4
9	CR2 2.35-F2 #183	13,1	175,3	176,5	43,3*	19,0*
10	CR2 2.35-F2 #205	8,0	174,4	179,7	19,1*	16,7
11	CR2 2.37-F2 #236	12,6	174,5	163,8	57,7	8,8
12	CR2 2.43-F2 #246	12,2	156,0	161,3	33,8*	8,1
13	CR2 2.43-F2 #257	14,2	171,3	194,2	48,4	19,8*
14	CR2 2.50-F2 #273	11,9	203,9*	182,9	62,1	12,3
15	CR2 2.74-F2 #604	11,9	190,5	150,8	45,0	12,2
16	CR2 2.74-F2 #611	14,2	205,5*	161,0	64,7	8,1
17	CR2 2.75-F2 #645	12,2	174,5	165,5	33,3*	9,9
18	CR2 2.75-F2 #650	14,4	179,5	166,5	32,0*	9,1
19	CR2 2.82-F2 #493	15,5*	200,5	183,7	50,8	5,1
20	CR2 2.83-F2 #523	13,4	164,7	145,8	22,7*	7,0
21	CR2 2.86-F2 #545	11,0	174,0	182,3	37,2	10,7
22	CR2 2.86-F2 #563	12,7	191,6	173,2	47,4	10,6
23	CR2 2.90-F2 #580	10,6	191,4	173,1	34,9	5,6
24	CR2 2.90-F2 #584	12,5	196,0	180,3	41,0	4,6
25	CR2 2.93-F2 #668	11,0	182,6	162,1	49,4	9,1
26	CR2 2.93-F2 #673	13,2	189,3	183,8	16,6*	12,6
27	CR2 2.93-F2 #697	10,7	174,5	188,4	39,4	9,1
28	CR2 2.96-F2 #708	11,3	197,5	181,3	18,5*	5,4
29	CR2 2.98-F2 #753	15,3*	218,0*	189,5	46,5	4,1
30	CR2 2.98-F2 #760	12,4	195,8	165,8	46,5	7,8

Continúa...

...continuación.

Tto	Genotipo	Prod. Acum (kg/planta)	Altura (cm)	Diámetro Copa (cm)	Supremo (%)	Vanos (%)
31	CR2 2.98-F2 #780	15,1*	209,3*	188,3	45,0	9,4
32	Castillo®	10,6	174,5	166,8	55,0	7,8
33	Catuái	11,6	201,8	180,3	51,3	5,8
34	Caturra	9,3	191,0	167,5	33,4	3,8

**Tabla 33.** Origen de los genotipos y proporción de plantas para cada progenie de acuerdo a la incidencia por roya (Escala de campo de Eskes & Braghini) agrupadas dentro de cuatro categorías (0 resistencia completa; 1-4 Alta resistencia incompleta; 5 – 6 Baja resistencia, puede llegar a afectar la productividad; 7 – 9 susceptibles)

Cruzamiento	Genotipo	Grados Escala de Eskes			
		0	1 - 4	5 - 6	7 - 9
MEG5.27 #937 x MEG5.17 #1380	CR2 2.93-F2 #668	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.93-F2 #673	0,0	89,5	10,5	0,0
MEG5.27 #934 x F4 HD.509	CR2 2.90-F2 #580	0,0	64,7	35,3	0,0
	CR2 2.90-F2 #584	0,0	63,2	36,8	0,0
	CR2 2.98-F2 #12	0,0	94,4	5,6	0,0
	CR2 2.98-F2 #28	0,0	80,0	20,0	0,0
MEG5.27 #1687 x HD.279	CR2 2.98-F2 #753	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.98-F2 #760	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.98-F2 #780	0,0	100,0	0,0	0,0
MEG5.27 #1687 x F4 HD.509	CR2 2.97-F2 #723	0,0	76,5	23,5	0,0
	CR2 2.97-F2 #731	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.97-F2 #747	0,0	90,0	5,0	5,0
MEG5.27 #889 x MEG5.16 - ET.II #668	CR2 2.93-F2 #697	0,0	57,9	42,1	0,0
	CR2 2.96-F2 #708	5,3	78,9	15,8	0,0
MEG5.24 #367 x MEG5.27 #1755	CR2 2.50-F2 #273	0,0	100,0	0,0	0,0
MEG5.27 #1755 x MEG5.16 ET.II #1303	CR2 2.86-F2 #545	0,0	95,0	5,0	0,0
	CR2 2.86-F2 #563	30,0	70,0	0,0	0,0
F5 BI.76 x MEG5.27 #1755	CR2 2.74-F2 #604	0,0	94,7	5,3	0,0
	CR2 2.74-F2 #611	0,0	75,0	25,0	0,0

Continúa...

...continuación.

Cruzamiento	Genotipo	Grados Escala de Eskes			
		0	1 - 4	5 - 6	7 - 9
F5 BI.76 x MEG5.16 ET.II #251 E.190	CR2 2.75-F2 #645	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.75-F2 #650	0,0	89,5	10,5	0,0
MEG5.27 #1815 x MEG5.29 #46	CR2 2.82-F2 #493	0,0	89,5	10,5	0,0
MEG5.27 #1815 x MEG5.29 #90	CR2 2.83-F2 #523	5,3	89,5	5,3	0,0
	MEG2.32-93/13 #130 x MEG5.29 #29	0,0	100,0	0,0	0,0
	CR2 2.35-F2 #205	0,0	60,0	40,0	0,0
MEG2.32-93/13 #133 x MEG5.17 #1400	CR2 2.37-F2 #236	0,0	5,6	50,0	44,4
	MEG2.32-93/13 #156 x MEG5.29 #8	0,0	15,0	85,0	0,0
	CR2 2.43-F2 #257	0,0	42,1	57,9	0,0
MEG2.32-94/5#446 x MEG5.16-ET.II #28	CR2 2.23-F2 #55	0,0	84,6	15,4	0,0
MEG2.32 - 94/5#446 x MEG5.17 #689	CR2 2.24-F2 #73	0,0	95,0	5,0	0,0
	CR2 2.24-F2 #86	0,0	89,5	10,5	0,0

pertenecen a cinco grupos genéticos diversos. De éstas, 11 involucran genotipos provenientes de generaciones avanzadas del cruzamiento entre *C. arabica* y *C. canephora*, obtenidas por la vía de los triploides, como progenitor materno, siendo el 36% cruzados por genotipos Etiopes y el restante por derivados de Caturra x Híbrido de Timor, como progenitor paterno. Los 11 genotipos resistentes adicionales pertenecen a derivado del Híbrido de Timor x Etiope (5) y al cruzamiento complejo entre derivados del Híbrido de Timor x Etiope (6). La obtención de líneas provenientes de estos genotipos presenta un alto potencial para ser integrados en la conformación de una variedad, debido a que involucran fondos genéticos diversos y no utilizados.

El conjunto de resultados indica que existen progenies que por sus características agronómicas pueden ser seleccionadas y evaluadas, antes de ser llevadas a pruebas regionales. Además, existen otras con excelentes características de resistencia a la roya y de producción, pero que su tamaño de grano o altura limita su uso. No obstante, por las características que presentan pueden ser utilizados en cruzamientos con otras líneas que contribuyan a mejorar su comportamiento agronómico.

#### Validación de QTL para selección asistida por marcadores para rendimiento en el programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé.

Se hizo el análisis de los resultados de genotipificación y su asociación con la producción, utilizando 41 progenies de Caturra x Híbrido de Timor, 42 accesiones silvestres de Etiopía, la variedad Caturra, el Híbrido de Timor y *C. canephora*. Los resultados de genotipificación con los dos marcadores ligados a la producción, 100007512\_6 localizado en el grupo de ligamiento 2 del mapa genético de *C. arabica*, y el marcador 100017872\_9 localizado en el grupo de ligamiento 11, aparecen en la Tabla 34.

Con base en los resultados puede concluirse que el genotipo GA presenta las mayores producciones para el marcador 100007512\_6; sin embargo, los análisis de varianza no mostraron diferencias significativas entre los tres genotipos, debido a los altos coeficientes de variación que presentaron los experimentos en las tres localidades.

En el caso del marcador 100017872\_9 no fue posible validar su ligamiento con la producción.



**Tabla 34.** Genotipificación de progenies de Caturra x Híbrido de Timor y accesiones Etiopes con los dos marcadores ligados a rendimiento.

SAMPLE_ID	100007512_6	100017872_9
1_BH1247	G:G	A:A
10_CU1815	G:G	A:A
11_CU1825	G:G	A:A
12_CU1827	G:G	A:A
13_CU1842	G:G	A:A
14_CU1843	G:G	A:A
15_CU1852	A:A	A:A
16_CU1855	A:A	A:A
17_CU1870	A:A	A:A
18_CU1871	A:A	A:A
19_CU1911	G:G	A:A
2_BH1409	A:A	A:A
20_CU1928	G:G	A:A
21_CU1951	G:G	A:A
22_CU1953	G:G	A:A
23_CU1970	G:G	A:A
24_CU1972	G:A	A:A
25_CU1991	G:G	A:A
26_CU1997	G:G	A:A
27_CU2021	G:G	A:A
28_CU2034	G:G	A:A
29_CX2065	A:A	A:A
3_BH0813	A:A	A:A
30_CX2074	G:A	A:A
31_CX2178	G:A	A:A
32_CX2188	G:G	A:A
33_CX2197	G:G	A:A
34_CX2375	A:A	A:A
35_CX2385	A:A	A:A
36_CX2391	A:A	A:A

Continúa...

...continuación.

SAMPLE_ID	100007512_6	100017872_9
37_CX2567	A:A	A:A
38_CX2708	G:G	A:A
39_CX2720	G:G	A:A
4_BI0712	G:G	A:A
40_CX2827	A:A	A:A
41_CX2848	A:A	A:A
42_CX2866	A:A	A:A
43_DHO4	A:A	A:A
44_E22	G:G	A:A
45_E53	G:G	A:A
46_E54	G:G	C:C
47_E56	G:G	A:A
48_E57	G:G	C:A
49_E72	G:G	A:A
5_BG459	G:A	A:A
50_E124	G:G	C:A
51_E147	G:G	C:C
52_E148	G:G	C:A
53_E150	G:G	C:C
54_E151	G:G	A:A
55_E156	G:G	A:A
56_E186	G:G	C:C
57_E267	G:G	C:C
58_E270	G:G	C:C
59_E282	G:G	C:C
6_Caturra	G:G	A:A
60_E285	G:G	A:A
61_E292	G:G	A:A
62_E294	G:G	A:A
63_E295	G:G	A:A
64_E299	G:G	A:A

Continúa...

...continuación.

SAMPLE_ID	100007512_6	100017872_9
65_E305	G:G	A:A
66_E306	G:G	C:C
67_E316	G:G	A:A
68_E324	G:G	C:C
69_E326	G:G	C:C
7_CU1778	G:A	A:A
70_E327	G:G	C:A
71_E328	G:G	C:C
72_E344	G:G	C:A
73_E375	G:G	C:A
74_E379	G:G	C:C
75_E384	G:G	C:C
76_E389	G:G	C:A
77_E393	G:G	A:A
78_E396	G:G	C:A
79_E410	G:G	C:C
8_CU1792	G:G	A:A
80_E468	G:G	C:C

Continúa...

...continuación.

SAMPLE_ID	100007512_6	100017872_9
81_E479	G:A	C:A
82_E486	G:G	C:C
83_E501	G:G	..
84_E504	G:G	A:A
85_E505	G:G	A:A
86_E510	G:G	C:C
87_E514	G:G	A:A
88_E515	G:G	A:A
89_E520	G:G	A:A
9_CU1812	G:G	A:A
90_E542	G:G	A:A
91_E545	G:G	A:A
92_E547	A:A	A:A
93_E621	G:G	A:A
94_ET42	G:A	C:C
95_HdT	A:A	A:A
96_Canephora	A:A	A:A

## Poscosecha



La disciplina de Poscosecha desarrolla actividades en las áreas de cosecha, beneficio, secado, tratamiento de aguas residuales y producción de bioenergía.

### Cosecha

**Evaluación de lonas, canguaros y hamacafés para la recolección manual de café.** Entre los días 22 de mayo y 1 de julio del 2017 se hizo una evaluación comparativa de la cosecha de café con lonas y cosecha tradicional con coco, en la Estación Experimental El Tambo, durante el momento de mayor flujo de cosecha. Para la evaluación se tuvieron cuatro operarios, dos recolectando de manera tradicional y dos con las lonas. La evaluación se realizó en el lote Estudiantes con árboles de la Variedad Castillo® El Tambo, de 5 años, sembrado a 1,5 x 1,0 m.

La cosecha de café con lonas mostró una tendencia a obtener una mayor masa recolectada por operario (Tabla 35). Si se retira el día en el que el equipo de trabajo no fue el original, se

obtiene 35,2% en promedio más café recolectando con las lonas que con el método tradicional.

### Determinación de costos de la cosecha semi-mecanizada de café.

Durante el segundo semestre se hizo la evaluación del sistema TWIST, el cual es una máquina eléctrica que tiene dedos oscilatorios, para desprender los frutos por medio de vibro-impactos a las ramas, guiado por un operario.

Para realizar la evaluación de esta máquina, se utilizó un equipo de diez operarios, que trabajaron con igual número de máquinas (Figura 65). Para la recepción de frutos desprendidos se utilizaron lonas de malla sarán al 45% de sombreado con extremos de cierre velcro®, para establecer una cobertura total debajo de los árboles y en el surco. Las pruebas se realizaron en lotes completos hasta que los operarios terminaron el proceso de recolección. Los operarios del equipo de trabajo realizaron la recolección con ambos sistemas. El café recolectado con máquinas fue sometido a un proceso de beneficio un poco diferente al convencional.

Inicialmente se pasó la masa de café en cereza por el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín para remover los frutos vanos y las impurezas livianas, y posteriormente, se pasó por una máquina despulpadora con separación de frutos verdes (Figura 66).

En la Tabla 36 se describen las características de los 11 lotes en los cuales se realizó el trabajo y los cuales sumaron un área total de 6,74 ha.

Se trabajó un total de 35 días. Durante ese tiempo, se recolectaron 22.143 kg de café cereza en total, de los cuales 14.278 kg fueron recolectados con las máquinas. En la Tabla 37 se muestran los resultados obtenidos en los lotes en los que se llevaron a cabo las pruebas completas, con café de buena calidad en los árboles. En la Tabla 37 puede observarse que no hubo diferencia en rendimiento entre la recolección con máquinas y con el sistema tradicional. Esto puede explicarse por varias razones que son las lecciones aprendidas de estas pruebas:

- Los recolectores fueron asignados

**Tabla 35.** Resultados obtenidos en la cosecha de café con lonas.

Fecha	Operarios	Tipo	Jornada	Café cereza (kg)	Incremento
22-mayo	2	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	264	23,1%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	325	
23-mayo	2	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	295	17,3%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	346	
24-mayo	2	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	280	<b>-13,6%</b>
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	242	
26-mayo	2	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	303	84,2%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	558	
30-mayo	1	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	186	39,8%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	520	
31-mayo	1	Manual con coco	7 a.m. a 5 p.m.	190	38,9%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 5 p.m.	528	
01-junio	2	Manual con coco	7 a.m. a 2:30 p.m.	268	42,5%
	2	Manual con lonas	7 a.m. a 2:30 p.m.	382	



**Figura 65.** Equipo de trabajo con diez operarios y diez máquinas Twist.

a la labor; ellos no escogieron el equipo con el cual trabajar.

- Los recolectores fueron pagados “al día” lo cual carece de motivación para hacer que la labor rinda más con un sistema que con el otro.
- No fue posible mantener el mismo equipo y hombre durante todas las pruebas; algunos trabajadores fueron



**Figura 66.** Sistema de despulpado de café con separación de frutos verdes.

Tabla 36. Descripción de los lotes.

Lote	Variedad	Edad [años]	Estado	Sitios	Tallos	Densidad [sitios/ha]	Área [ha]
Invernadero	Castillo®	4	Zoca1	2.435	2	5.000	0,6
Costeño	Castillo®	4	Siembra	2.604	2	5.000	0,73
Macadamia	Colombia	4	Zoca2	3.288	2	7.463	0,92
Vanegas	Castillo®	6	Siembra	1.711	1	6.667	0,29
Kiosko	Castillo®	2	Siembra	1.633	2	6.944	0,64
Espejo	Castillo®	2	Siembra	1.949	2	5.000	1,01
Pitahaya	Castillo®	4	Siembra	1.814	2	5.000	0,78
Tabi	Tabi®	4	Zoca1	1.815	1	5.000	0,49
Nogalitos	Castillo®	7	Zoca1	1.146	2	5.000	0,39
Guamos	Castillo®	4	Siembra	2.672	1	10.000	0,49
Cítricos 2	Castillo®	3	Siembra	2.112	2	5.000	0,4

Tabla 37. Resultados obtenidos en la cosecha de café con equipo twist.

Lote	Tipo de Cosecha	Variable			
		Rend. [kg/h]	VMC [%]	FS [conteo]	FA [conteo]
Macadamia 39-50 días	Twist	13,60	6,80%	15,95	23,55
	Manual	12,83	5,80%	15,27	23,87
Invernadero 43-47 días	Twist	13,97	13,41%	10,85	15,65
	Manual	17,07	7,14%	11,15	10,75
Guamos 55-61 días	Twist	19,21	7,98%	19,10	48,10
	Manual	17,81	3,28%	19,00	15,70

VMC: Verdes en la mesa cosechada; FS: Frutos en el suelo; FA: Frutos en el árbol.

rotados a otras labores, hubo absentismo y en un número importante de pruebas no se disponía del equipo completo.

- Las pruebas tomaron más tiempo del planeado y las pruebas finales fueron corridas con café que estaba en estado avanzado de deterioro en el árbol.

**Impacto del uso de la máquina derribadora y la espera entre pases de recolección sobre la necesidad de mano de obra.** Durante la primera semana del mes de julio se realizaron

tres pruebas correspondientes a la evaluación de las máquinas Derribadoras de las marcas Brudden y Husqvarna (Figura 67), dos de cada una, comparada con el sistema de recolección tradicional, como parte de la evaluación. La evaluación tuvo lugar en la Estación Experimental El Tambo, en el pase de cosecha de mayor flujo de café, el cual fue esperado por un tiempo de 35 días entre pases de cosecha, con el fin de tener mayor disponibilidad de frutos maduros. Se realizaron tres pruebas en las que se incluyó toda la metodología hasta que el café fue vendido a la Cooperativa.

Al contrario de las pruebas realizadas en investigaciones anteriores, éstas tuvieron una duración de una jornada completa y fueron desarrolladas en tres lotes de la Estación Experimental. El café recolectado durante cada jornada se procesó con clasificación hidráulica en doble caneca y después pasó por la máquina despulpadora que incorpora separación de frutos verdes por firmeza. Posteriormente, el café fue sometido a clasificación por tamaño, en una zaranda manual, y después se dispuso en tanques de fermentación, para realizar la degradación del mucílago, para después lavarlo con agua limpia.

La tabla 38 muestra los resultados preliminares obtenidos, utilizando un método de pago mixto. El pago mixto consiste en pagar "al día" hasta 90 kg y pagar "al tajo" el resto del café recolectado, pero a un valor menor que el estándar, y el cual depende de la calidad de recolección: si el contenido de frutos verdes está entre 0% y 5%, se pagan \$300/kg, si está entre 5% y 10% se paga a \$250/kg y si es mayor de 10% se paga a solamente \$200/kg.

Las pruebas realizadas tuvieron una adición con el fin de recuperar el café verde recolectado. La práctica consistió en depositar en un tanque los frutos verdes obtenidos de la máquina separadora y adicionarle el mucílago del lavado del día anterior; este café se dejó fermentando por 24 horas. El café despulpado se puso en un tanque de fermentación y se le realizaron los mismos procesos que al café principal. Esta práctica permitió obtener más café



**Figura 67.** Máquinas derribadoras **a.** Marca Husqvarna y **b.** Marca Brudden.

pergamino seco de valor, ya que el producto fue vendido en la Cooperativa al precio de café con factor de conversión de 94, que ese día era de \$6.000/kg de cps.

Consideraciones parciales:

- Los resultados no son concluyentes porque solamente se ha hecho el 37,5% de las pruebas mínimas que son necesarias.
- Con las máquinas derribadoras Husqvarna se obtuvieron resultados en los que se mejoró la rentabilidad del negocio.
- La capacidad con la máquina derribadora Husqvarna fue un 43,2% mayor que con la recolección manual.
- El método en el que se sumerge el café verde en mucílago para ablandar la pulpa podría ser una forma de agregarle valor a este café que de otra forma sería una pasilla.
- A pesar de tener un contenido alto de frutos verdes en la masa cosechada, se obtuvo rentabilidad por la mayor recolección y porque se buscó una alternativa para darle mayor valor al café verde recolectado.
- Con la máquina derribadora Brudden no se obtuvieron buenos resultados en las dos primeras pruebas; sin embargo, la tercera prueba fue la de mejor capacidad observada.

**Desarrollo y validación de una herramienta tecnológica basada en visión de máquina y TICs para la administración de labores agrícolas en la finca cafetera.** Se desarrolló una estrategia para la adquisición de imágenes en condiciones de campo, con un dispositivo móvil y un sujetador con el que se controla el proceso de adquisición de imágenes sobre una rama de café. Se creó una base de datos de cerca de 4.000 ramas de café, principalmente para café de Variedad Castillo®, en condiciones de campo no controladas. Se realizaron desarrollos computacionales para almacenamiento e indexación de esta base de datos y se generó información de verdad cruda (*Ground truth*), a partir de un sistema de anotación semiautomático desarrollado. A su vez, se desarrollaron

**Tabla 38.** Resultados obtenidos comparando dos máquinas derribadoras, con respecto al método tradicional con la mano.

Variable	Prueba								
	Husqvarna01	Husqvarna02	Husqvarna03	Brudden01	Brudden02	Brudden03	Manual01	Manual02	Manual03
Rendimiento [kg/h/operario]	18,64	22,28	21,68	12,73	9,02	22,19	14,30	17,95	10,86
Frutos en el suelo/sitio	5,32	3,78	6,59	4,21	1,30	3,22	1,17	0,67	1,13
Frutos cosechables/árbol	25,95	10,63	28,82	26,47	5,04	16,69	2,83	1,20	1,55
Frutos verdes en la masa cosechada [%]	22,20	10,40	13,10	20,10	24,30	13,60	1,10	0,80	0,00
Masa total recolectada [kg]	246,00	257,00	297,00	174,00	113,00	284,00	195,50	207,00	156,00
Masa total de frutos maduros [kg]	191,39	230,27	258,09	139,03	85,54	245,38	193,35	205,34	156,00
Café pergamino seco total [kg]	29,50	50,00	41,50	19,50	19,50	40,50	35,00	41,00	27,50
Factor de rendimiento	91,15	89,29	87,94	90,21	88,83	87,94	88,38	86,63	87,94

algoritmos de identificación de estructuras vegetativas, como frutos, tallo, hojas y fondo. Con algoritmos 2D y 3D se realizó el conteo automático de frutos de café en tres estados de desarrollo: inmaduro, pintón y maduro. Se construyeron modelos de estimación de producción, a partir de la información 2D analizada de una sola vista de la rama. Los modelos estiman, a partir del número de frutos contados automáticamente, el número real de frutos en la rama, el porcentaje de maduración y la masa de la misma. A nivel de rama, los errores de estimación por medio del método automático son de 17%, 7% y 22%, correspondiente a errores de conteo, porcentaje de maduración y estimación de masa, respectivamente (Figura 68).

**Figura 68.** Medición y conteo frutos en la rama.

## Beneficio

**Guía técnica para el diseño de beneficiaderos ecológicos de café.** Se realizaron los ajustes necesarios y las evaluaciones respectivas para poner a punto la tecnología ECOMILL® 1.500, instalada en un beneficiadero construido en la Finca "El Bosque", del municipio de Salamina en el departamento de Caldas, (Figura 69), de acuerdo a los planos arquitectónicos



**Figura 69.** Perspectiva general beneficiadero ecológico con tecnología ECOMILL® 1.500.

y detalles constructivos diseñados para cada una de las instalaciones proyectadas, en el proceso húmedo del café y el manejo de las fosas para el manejo de la pulpa y el mucilago.

El promedio de los frutos de café cereza sanos recibidos en la tolva (maduros y sobremaduros), fue de 51,2%. El porcentaje de frutos verdes del 11,4% y de verdes-pintones del 15,3% no influyó directamente en el daño mecánico ocasionado por los equipos, cercano al 1%, por lo cual se demostró la importancia que tiene la zaranda en la clasificación del café despulpado. Respecto al flujo de café lavado ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ), el valor encontrado 1.539 kg, está acorde al desempeño reportado en las evaluaciones de los equipos reportados por Cenicafé. Los valores de consumo específico de agua son ligeramente superiores al valor promedio reportado por Cenicafé. El consumo total fue de  $1,5 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$  de cps, incluyendo la recirculación del agua en el manejo del transporte de cereza en el tanque de separación de flotes y mínimos consumos de agua, con el fin de mejorar la materia prima que es procesada por los equipos (Despulpadora y ECOMILL®) y está dentro del rango en el cual es posible lograr el 100% del control de vertimientos. Se observó la correcta disposición de los subproductos pulpa y mucilago, y que los sistemas de procesamiento de subproductos están correctamente diseñados para las capacidades de las fincas. Las obras se ejecutaron de acuerdo a los diseños arquitectónicos y detalles constructivos propuestos en esta guía técnica para beneficiaderos ecológicos.

**Diseño y construcción de una central comunitaria para el beneficio húmedo del café, utilizando tecnología que no contamina las fuentes de agua. Desempeño técnico general.**

La capacidad de la planta en el momento actual es de 18.000 kg en el día de mayor flujo de café. Normalmente, en el diseño de beneficiaderos de café en la zona central cafetera se ha utilizado un día pico equivalente al 2,0% de toda la cosecha que se recibe en la finca. Este criterio fue utilizado para el diseño original de la Central Agroindustrial de Café de Belén de Umbria (Figura 70) lo cual tendría un potencial para procesar anualmente 180.000 kg de café pergamino seco (15.000 @ de cps).

Se midieron las aguas remanentes en el separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín con valores de 240 L y en el tanque de la motobomba sumergible y las tuberías que conforman el sistema de transporte de café lavado al secador de 300 L; es decir, en cada proceso que se realice se consumen 540 L sin importar cuál sea la cantidad de café. Si se trabaja a la capacidad máxima, el consumo específico



**Figura 70.** Central Agroindustrial (der) y recinto para el procesamiento de pulpa y mucilago (izq), en Belén de Umbria.



de agua asociado a las aguas remanentes sería de  $0,15 \text{ L.kg}^{-1}$  de cps. No obstante, cuando se procesan menores cantidades de café en la planta, el consumo específico de agua es mayor. Por otro lado, el consumo específico de agua en el módulo Ecomill® fue medido. El promedio fue de  $0,49 \text{ L.kg}^{-1}$  de cps, con un máximo de  $0,52 \text{ L.kg}^{-1}$  y un mínimo de  $0,46 \text{ L.kg}^{-1}$ .

La Figura 71 presenta una gráfica del consumo específico de agua durante el procesamiento de café, incluyendo las aguas remanentes y de lavado de café, en función del café en cereza recibido. Puede observarse que para que el consumo específico de agua esté por debajo de  $1,0 \text{ L.kg}^{-1}$  de cps, debe trabajarse con cantidades de café en cereza mayores a  $5.350 \text{ kg}$ .

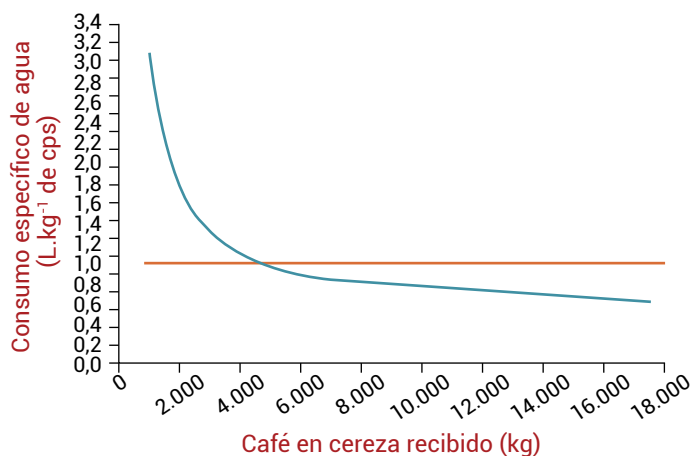
Se estima que en la Central Agroindustrial de Café de Belén de Umbria se va a procesar un promedio diario de  $8.000 \text{ kg}$  de café en cereza, lo que quiere decir que por cuenta de las aguas que se necesitan durante el proceso, se tiene un consumo específico de agua promedio de  $0,83 \text{ L.kg}^{-1}$  de cps. Para el aseo de los equipos se utiliza una hidrolavadora marca Kärcher referencia K2, la cual se caracteriza por su bajo caudal de agua ( $6 \text{ L.min}^{-1}$ ) y alta presión ( $20 \text{ bar}$ ). La Figura 72 muestra una gráfica del consumo específico de agua en función del café en cereza que se recibe. Los consumos específicos de agua son mayores cuando se procesan cantidades menores de café en cereza.

El techo de la edificación tiene un área proyectada de  $500 \text{ m}^2$  y posee las canales para coleccionar el agua llovida y los conductos para llevarla hasta un tanque de almacenamiento

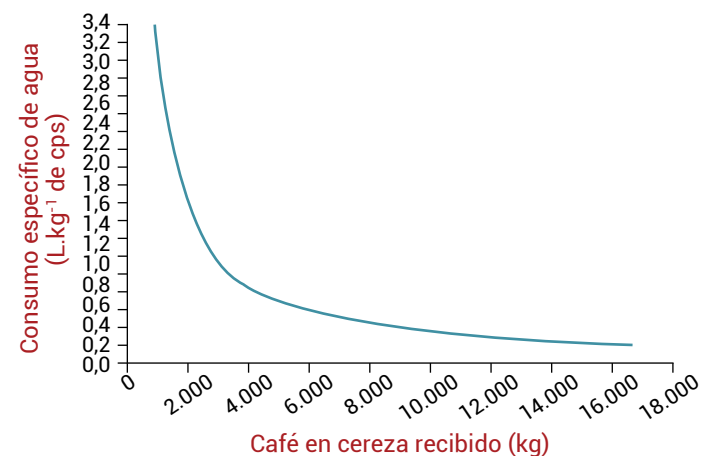
de  $60 \text{ m}^3$ , el cual tiene un sistema de bombeo que abastece la Central de agua para ser utilizada en el procesamiento de café.

Los aspectos ambientales de la Central Agroindustrial están divididos en tres: control de la contaminación del agua de proceso, disminución de la carga contaminante de las aguas remanentes y las aguas de aseo de equipos e instalaciones, y el uso de las aguas llovidas que finalmente tiene un impacto sobre la huella hídrica del café que se produce. Las aguas residuales del proceso se dividen en dos: las utilizadas en el proceso, las cuales están conformadas por las resultantes del módulo Ecomill® y las de las aguas remanentes utilizadas en los procesos de clasificaciones y transporte, y las aguas resultantes del aseo de equipos e instalaciones.

La Tabla 39 muestra la carga orgánica de cada una de las aguas mencionadas, el consumo específico de agua y la carga orgánica absoluta por cada kilogramo de café pergamino seco que se obtiene en la Central. Se observa que la contribución en contaminación es de  $95,5\%$  por parte del mucilago que se desprende en el módulo Ecomill®,  $2,4\%$  por las aguas remanentes y  $2,1\%$  por las aguas utilizadas para el aseo de equipos e instalaciones. Con el tratamiento de riego de las aguas residuales del módulo Ecomill® sobre la pulpa se controla la totalidad de contaminación posible con esas aguas, es decir, el  $95,5\%$  de la contaminación. Las otras aguas van a un Sistema Modular de Tratamiento de Aguas (SMTA) residuales en donde al menos tienen una remoción del  $80\%$  de la carga orgánica, es decir, se espera que con esa eficiencia las aguas salgan del SMTA con un máximo de  $1.000 \text{ mg.L}^{-1}$  de



**Figura 71.** Consumo específico de agua en el proceso en función del café en cereza recibido.



**Figura 72.** Consumo específico de agua para el aseo de equipos en función del café en cereza recibido.

**Tabla 39.** Carga orgánica de las aguas residuales de la Central.

Aguas Residuales	Rango Carga Orgánica	Consumo Esp. de Agua	Carga Orgánica absoluta	Tratamiento
	[mg.L <sup>-1</sup> de DQO/L]	[L.kg <sup>-1</sup> c.p.s.]	[mg.L <sup>-1</sup> de DQO por kg c.p.s.]	
Proceso Ecomill®	129.000 - 168.000	0,49	82.320	Riego pulpa
Aguas remanentes	3.800 - 6.200	0,34	2.108	SMTA
Aguas de aseo	2.800 - 4.900	0,36	1.764	SMTA

DQO, no obstante, se espera una mayor eficiencia porque el tiempo de retención en el SMTA implementado es dos veces mayor al nominal.

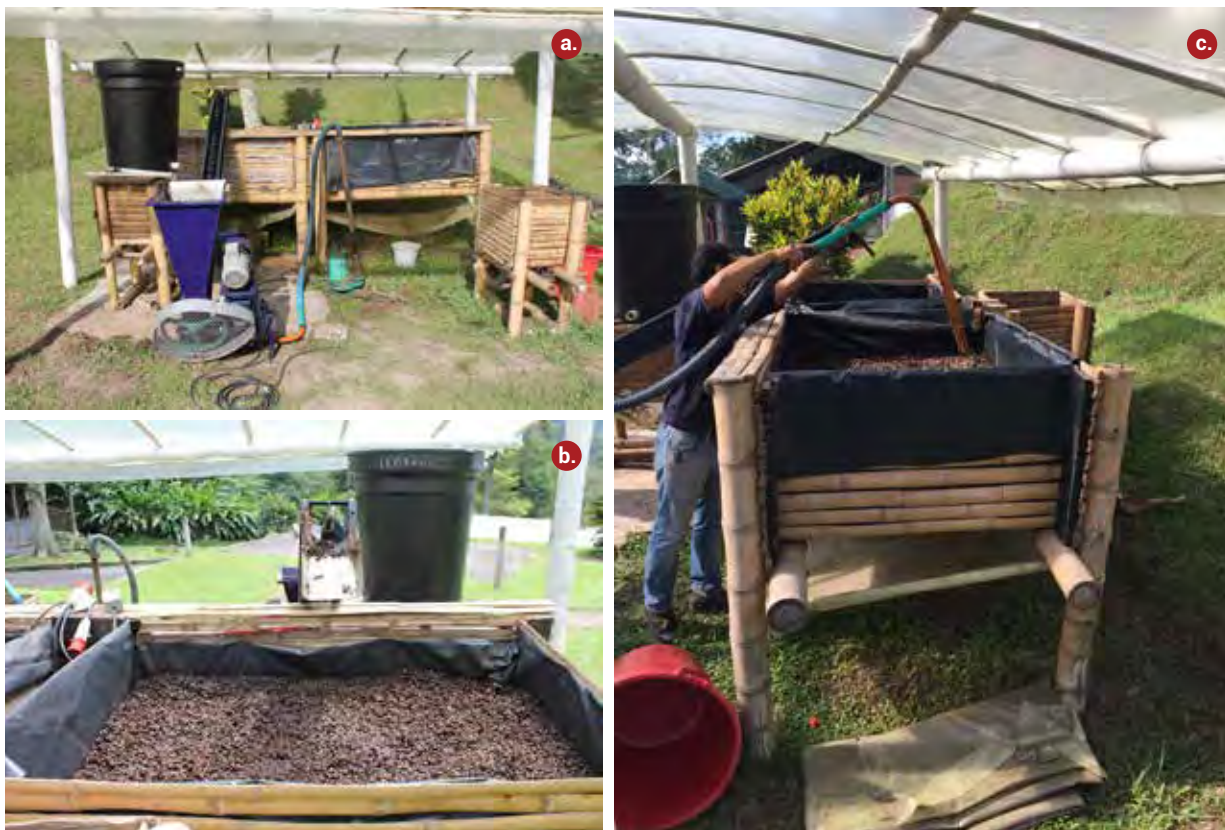
La huella hídrica de un producto o de un proceso consiste en cuantificar la cantidad de agua que se precisa para obtener el producto final. La huella hídrica tiene tres componentes: huella hídrica gris, huella hídrica azul y huella hídrica verde.

La huella hídrica gris es la cantidad de agua fresca necesaria para asimilar los contaminantes que contiene el agua para cumplir con los estándares de calidad específicos. La huella gris considera los vertimientos hechos directamente a una fuente de agua fresca a través de una tubería o aquella disposición que se hace indirectamente a través de escapes o lixiviados del suelo, superficies impenetrables u otras fuentes difusas. Los vertimientos de la Central Agroindustrial de Café de Belén de Umbría consisten en 240 m<sup>3</sup> de agua que se disponen anualmente con una carga contaminante promedio de 1.000 mg.L<sup>-1</sup> de DQO, aproximadamente. Considerando que la legislación actual de Colombia permite vertimientos con cargas orgánicas menores a 3.000 mg.L<sup>-1</sup> de DQO, la contribución de la Central a la huella hídrica gris del café es completamente nula, pues sus vertimientos cumplen con la legislación actual. La huella hídrica azul es el agua que ha sido tomada de aguas superficiales o subterráneas y es evaporada, incorporada a un producto o tomada de un cuerpo de agua y retornado a otro, o retornado a un tiempo diferente. La Central Agroindustrial de Café tiene conexión a acueducto como respaldo en caso de que el sistema de captación y abasto de aguas llovidas no sea suficiente. Por tal razón, la huella hídrica azul de esta agroindustria es nula mientras no se use el agua de acueducto. La huella hídrica verde se refiere al agua que

es tomada de las aguas llovidas, almacenada y, posteriormente, incorporada al proceso. Dado que la Central Agroindustrial cuenta con un sistema de captación y abasto de aguas llovidas para realizar el proceso y aseo de los equipos e instalaciones, la huella hídrica verde se convierte en el único componente que tiene valor en la huella hídrica. En el caso del proceso realizado el consumo específico de agua es solamente de 1,19 L.kg<sup>-1</sup> de cps, en promedio. Así, la huella hídrica total del proceso es de 1,19 L.kg<sup>-1</sup> de cps de las cuales el 100% corresponde a la huella hídrica verde, mientras las huellas hídricas gris y azul fueron nulas.

**Control de la contaminación producida por las aguas residuales del lavado del café obtenidas con la tecnología Ecomill®.** En esta investigación se evalúa la adición de las aguas del lavado (ARLs) resultantes de la tecnología Ecomill® a la pulpa del café, como alternativa para eliminar el impacto ambiental. Se evaluaron dos tecnologías para su aplicación a la pulpa, utilizando un tornillo sinfín y mediante aspersion empleando una bomba. Al adicionar las aguas de lavado (ARLs) a la pulpa con relaciones de ARLs: pulpa de café (L.kg<sup>-1</sup>) de 2:1, se logra la retención de fluidos en las primeras 24 h de 75% y 70%, utilizando el tornillo sinfín y mediante aspersion, respectivamente. Aplicando los drenajes de cada tratamiento a la pulpa en tres oportunidades se logra la retención total de 98% y 100%, respectivamente, corroborando lo observado a nivel de fincas y en Cenicafé (Figura 73).

**Separación de los flotes en café cereza como estrategia para incrementar los ingresos del pequeño caficultor.** En esta investigación se evalúa un método de bajo costo para pequeños productores de café, consistente de dos canecas plásticas, una de ellas con perforaciones en su tercio inferior donde se deposita el café, y otra para contener el agua empleada (20 L), con



**Figura 73.** Dispositivos utilizados para adicionar Aguas Residuales del Lavado del café (ARLs) de Ecomill® a la pulpa de café, tornillo sinfín y bomba sumergible. **a y b.** Canasta con pulpa mezclada con ARLs utilizando el tornillo sinfín; **c.** Aplicación a la pulpa de ARLs utilizando una bomba sumergible.

agitación manual de la masa de café utilizando una paleta. En diez ensayos realizados se ha obtenido un promedio de la eficacia de separación de flotes del 98,2% (D.E. 0,16%) en café cereza, con porcentajes de flotes entre 7,3% y 20,5%, y promedio de rendimiento de 155,0 kg.h<sup>-1</sup> de café cereza (D.E. 33,4 kg.h<sup>-1</sup>). La separación de flotes antes del despulpado permitió obtener café cereza de mejor calidad, con el cual se obtiene mejor funcionamiento de las despulpadoras. A pesar de estas ventajas, no se obtuvo café seco de mejor calidad física y sensorial que cuando se beneficia el café sin separación de flotes, con empleo de zaranda para separar los frutos que no se despulpan (inmaduros, secos, vanos, entre otros) y gran parte de la pulpa. Gran parte de la

pasilla que no es retirada en las etapas del beneficio, como granos negros, atacados por la broca, entre otros, afecta el factor de rendimiento del café seco que es comercializado, disminuyendo su precio. La calidad sensorial del café con y sin separación de flotes y empleo de zaranda para el café despulpado fue igual.

#### **Evaluación de un tanque para la fermentación del mucilago del café en la tecnología ECOMILL®, fabricado en polietileno de densidad media.**

El flujo másico de café en "punto" de lavado en el tanque construido en polietileno - PDM es inferior al observado en el tanque construido en acero inoxidable 430. Sin embargo, esto no afecta su empleo teniendo en cuenta que el flujo másico promedio en el

tanque fabricado en PDM (41,3 t.h<sup>-1</sup>) es notoriamente superior al máximo requerido en los beneficiaderos de mayor capacidad que se construyen en Colombia (máximo 6,0 t.h<sup>-1</sup>). No se ha observado diferencia en la calidad sensorial del café por empleo de PDM en el tanque de fermentación.

#### **Evaluación de especificaciones de operación de un lavador de café para pequeños productores.**

Se evalúa un equipo con capacidad de 280 a 300 kg.h<sup>-1</sup> de café lavado, accionado por un motor de 0,5 hp, que podría ser alternativa principalmente para pequeños productores de café en Colombia. En la evaluación se consideran tres velocidades de rotación del lavador (300, 400 y 500 rpm) y tres volúmenes específicos

(0,5 – 0,7 y 1,0 L.kg<sup>-1</sup> de cps). Como variable de respuesta se tiene el porcentaje de remoción de mucílago y como complementarias la capacidad (kg.h<sup>-1</sup>) y el daño mecánico causado a los granos durante el lavado (%). El ANAVA mostró efecto de los tratamientos y de la interacción velocidad de giro del eje del lavador por volumen específico de agua en la variable remoción de mucílago. Los mejores resultados en remoción de mucílago (> 96%) y capacidad del equipo (> 280 kg.h<sup>-1</sup> de café lavado) se obtienen con rotaciones de 300 y 400 rpm y volumen específico de agua de 0,7 L.kg<sup>-1</sup> de cps. El daño mecánico ocasionado a los granos durante el lavado con el equipo varió entre 0,02% y 0,21%, inferiores a los observados en los equipos Ecomill® desarrollados en Cenicafé.

## Secado

**Secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino.** Continuó la evaluación del secador de flujos concurrentes e intermitente para café con capacidad para 62 kg de cps, denominado secador IFC-62. Se realizaron ajustes al diseño inicial del secador en las zonas de carga y descarga del elevador de cangilones con el fin de reducir el daño mecánico causado a los granos. Se sustituyó el intercambiador de calor por un calentador eléctrico de 5 kW, para eliminar la contaminación causada por los gases de combustión producidos en el generador de calor utilizado inicialmente y facilitar el control de la temperatura del aire de secado (Figura 74a). Se realizó un ensayo de

secado, con los siguientes resultados: tiempo de secado 27 h, temperatura máxima de los granos 42°C en la última hora de secado, humedad final del café 12,5% (C.V. 1,23%), eficiencia energética 4,7 MJ.kg<sup>-1</sup> de agua evaporada. Se evaluó la calidad sensorial del café seco, obteniendo 79 puntos en la escala de SCAA. El porcentaje de granos trillados fue alto (9,9%), atribuible al efecto del aire de secado en las primeras etapas del proceso y a la calidad del café empleado (Figura 74b). Se evaluó la germinación del café obtenido en el IFC 62 (Figuras 74c), con el 92,5%, valor similar al que se observa en el secado de la semilla de café con temperatura de aire de 38°C. Los ensayos realizados hasta la fecha indican que con el secador IFC-62 diseñado puede obtenerse café con alta eficiencia térmica (< 5 MJ.kg<sup>-1</sup> de agua evaporada), con alta uniformidad del contenido de humedad final, sin que se presenten sitios en su interior donde se acumule el café durante el ensayo, como en modelos anteriores construidos en Cenicafé, y al final del proceso presenten mayor contenido de humedad que la masa restante. Se requiere explorar alternativas para la operación del secador en las primeras etapas del proceso, con el fin de disminuir el daño mecánico causado al pergamino de los granos.



**Figura 74.** a. Calentador utilizado para el aire de secado. b. Café en almendra obtenido en el ensayo c. Prueba de germinación del café obtenido en el IFC 62.

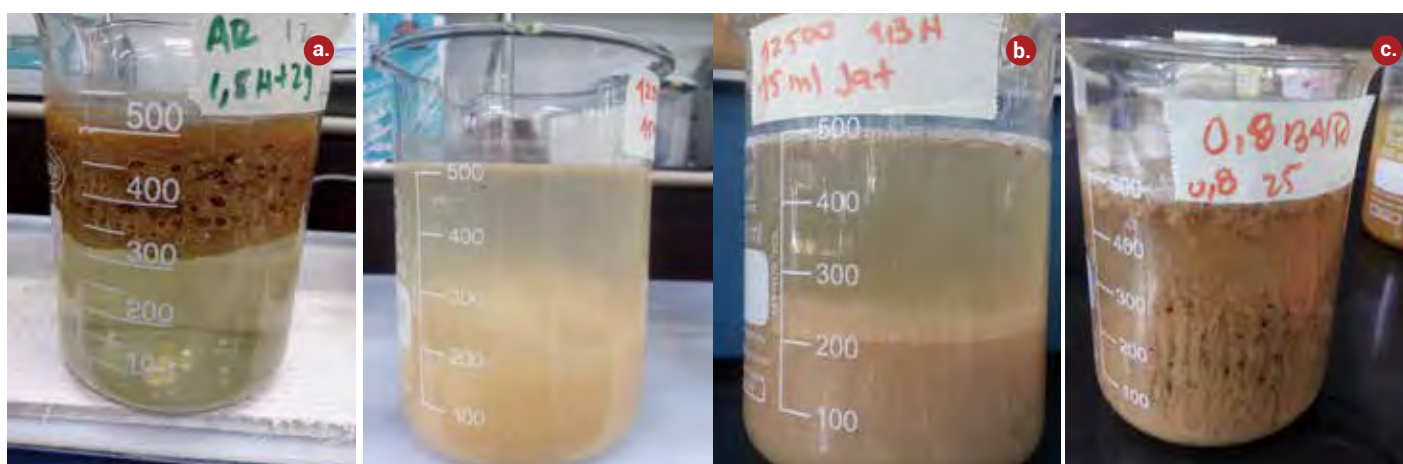
## Aprovechamiento de subproductos

**Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales del café.** Con el propósito de generar alternativas, costos eficientes y de fácil implementación por parte de los caficultores en el tratamiento de las aguas residuales del café, provenientes del lavado en los tanques de fermentación, se seleccionaron cuatro especies vegetales que permitieran la extracción de compuestos coagulantes con aplicabilidad en la depuración de aguas residuales, tales como: moringa (*Moringa oleifera*), jatropha (*Jatropha curcas*), balso (*Heliocarpus popayanensis*) y astromelio (*Hibiscus rosa sinensis*). Con el fin de acondicionar el pH del agua residual al rango de acción de los coagulantes naturales, se evaluaron tres tipos de cal: hidróxido de calcio, cal nare y cal dolomita, actuando éstas como tratamiento primario. Las evaluaciones permitieron seleccionar el hidróxido de calcio (dosis entre 2.000 y 4.600 ppm) como el alcalinizante apropiado, con el cual se lograron promedios de remociones en el rango del 48,7% - 49,0% en la carga orgánica, expresada como DQO y elevar el pH del rango de 4,0-4,5 al rango 9,5- 10,0.

Posteriormente, se realizó la evaluación de la capacidad de depuración de los extractos sobre aguas residuales del café a pH original, después de realizar el tratamiento primario con hidróxido de calcio y adicionando hidróxido de calcio seguido del extracto. Para ello, se evaluó el extracto seco y molido obtenido de las cuatro especies vegetales seleccionadas y el extracto después de un tratamiento salino. Desde el punto de vista técnico, el mejor tratamiento para el agua residual del beneficio del café a una concentración de 12.500 ppm como DQO fue el extracto de jatropha ( $1,5 \text{ g.L}^{-1}$ ) + hidróxido de calcio ( $3 \text{ g.L}^{-1}$ ) y para una concentración de 25.000 ppm como DQO fue el extracto de moringa ( $5 \text{ g.L}^{-1}$  ppm) + hidróxido de calcio ( $4,6 \text{ g.L}^{-1}$ ). Esta investigación permitió la selección de extractos de *Jatropha curcas* y *Moringa oleifera*, como los apropiados para el tratamiento de las aguas residuales del café

a concentraciones de DQO de 12.500 ppm y 25.000 ppm, respectivamente, generando alternativas diferentes al tratamiento biológico y químico con sales de hierro y aluminio (Figura 75a, b, c).

**Producción de alcoholes a partir del mucílago del café obtenido del beneficio ecológico del café con cero vertimientos.** Con el fin de determinar la producción de bio-alcoholes, utilizando como sustrato el mucílago del café obtenido del beneficio ecológico, procesado con Becolsub, Ecomill® (20 y 16 h de fermentación), Ecomill® con enzima y tanque tina (primera y segunda cabeza de lavado). Para la detección de bio-alcoholes, las técnicas estandarizadas (HPLC para la detección de azúcares y por cromatografía de gases para la detección de alcoholes), resultan confiables y repetibles, y la producción de etanol como mayor bio-alcohol obtenido, depende principalmente del tipo de sustrato utilizado. Las producciones de etanol fueron máximas para tiempos de fermentación entre las 16 y 20 h, siendo los mucílago



**Figura 75.** a. Aspecto del agua residual tratada adicionando hidróxido de calcio y moringa. b. Aspecto del agua residual tratada con el extracto de jatropha. c. Aspecto del agua residual después de la aplicación de balso y astromelio.

provenientes del Becolsub (14%) y Ecomill® con enzima y cero horas de fermentación (11%) los de mayor producción, respectivamente. Aunque la estrategia para aprovechar el mucilago del café como fuente energética no es novedosa, los resultados aquí presentados aportan elementos para modificar sustancialmente tanto la visión sobre su valoración, pasando por su diversidad en cuanto a composición y calidad, como el marco legal nacional y mundial en que los biocombustibles se rigen actualmente. Adicionalmente y no menos relevante, al reducir el impacto negativo que los desechos del proceso de café causan al ambiente, el caficultor mejora su calidad de vida, la de su familia y la de su comunidad, a la vez que puede mejorar sus ingresos económicos, al obtener un producto con connotación de sostenibilidad. A partir de los parámetros obtenidos, se recomienda realizar trabajos de escalamiento para la producción de alcoholes en volúmenes mayores, como de 10 y 100 L, y desarrollar estrategias para la producción de alcoholes de mayor valor como lo es el caso del butanol.

## Tratamiento de aguas residuales

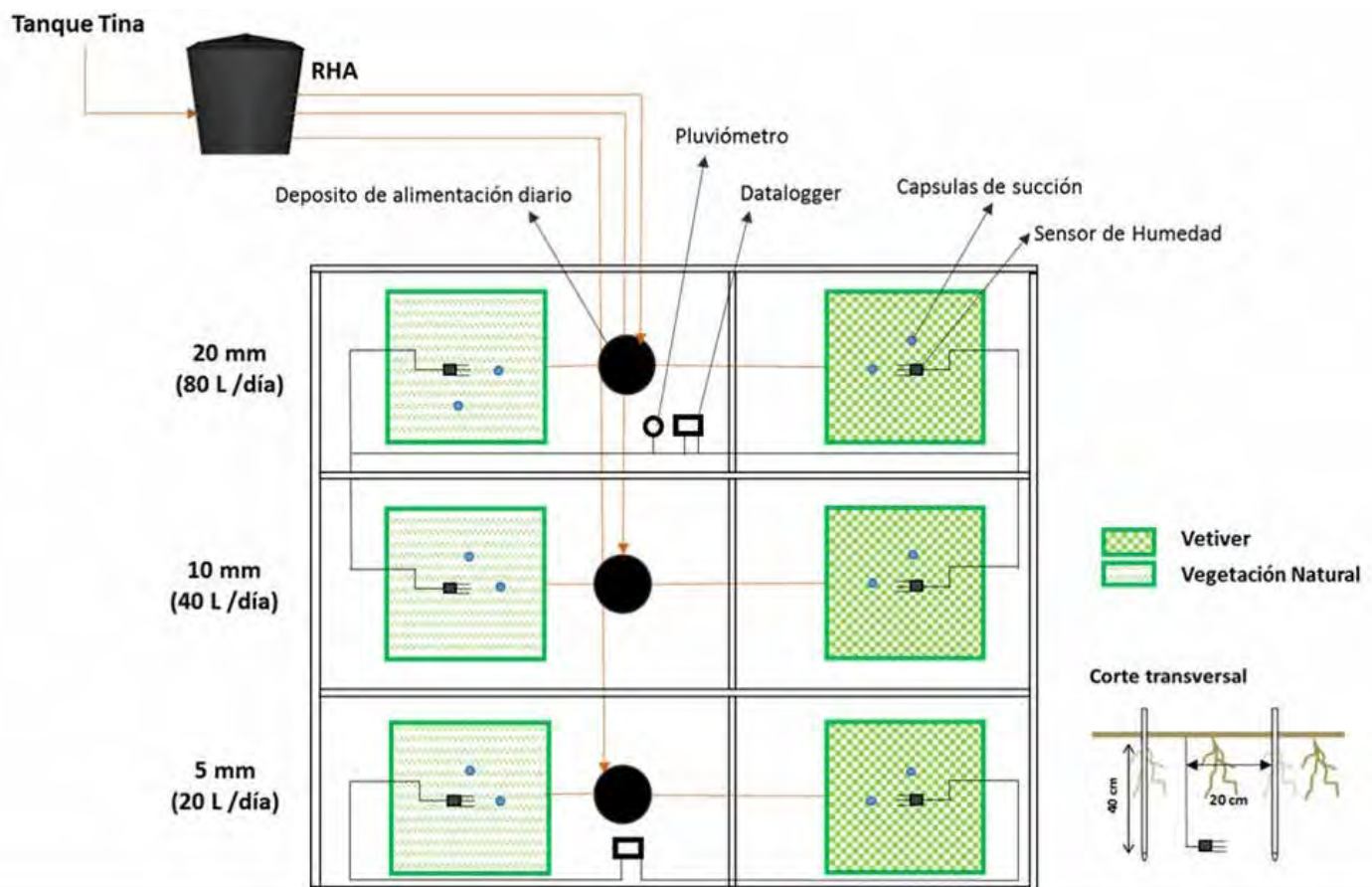
**Evaluación de productos químicos para el tratamiento de aguas residuales del café.** Se inició la evaluación del tratamiento químico de los lixiviados (Figura 76a, b, c) y aguas mieles del café utilizando soda cáustica (hidróxido de sodio) y cal hidratada

(hidróxido de calcio), con el fin de ajustar el pH de las aguas residuales para hacerlas aptas para el tratamiento secundario, con sales de hierro y aluminio. De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con sales de aluminio, se hace necesario realizar evaluaciones a dosis en el rango entre 6 y 8 g.L<sup>-1</sup>, ya que en este rango se observó un efecto coagulante y una disminución en los valores de absorbancia y turbidez en las muestras de los lixiviados.

**Evaluación de filtros verdes para el tratamiento de aguas residuales del café.** Se evaluó la capacidad de depuración e idoneidad de la tecnología de filtros verdes para el tratamiento de efluentes procedentes del beneficio del café (aguas mieles), para pequeños caficultores (Figura 77). En promedio, el agua proveniente del beneficio de café presentó un valor de DQO de



**Figura 76.** a. Tratamientos químicos de los lixiviados de la pulpa. b. Aspecto de los lixiviados antes y después del tratamiento. c. Lixiviados + hidróxido de calcio a diferentes concentraciones.



**Figura 77.** Esquema de la disposición de los tratamientos en el campo.

20.261 ppm. A la salida del reactor hidrolítico, con el dispositivo flotante de cabeza de presión constante, se presentó un valor de DQO de 10.163 ppm, lo que refleja una remoción de DQO del 49,84%. Los tratamientos que estuvieron sometidos a la mayor carga orgánica: parcela 1 (testigo con pasto *Cyperus rotundus*, arvense natural del área de experimentación) mostró un valor promedio de DQO de 126 ppm (para una remoción total de la DQO del 99,38%) y parcela 2 (tratamiento con pasto vetiver) mostró un valor promedio de DQO de 1.123 ppm (para una remoción total de la DQO del 94,46%), valores que permiten el cumplimiento de la normativa ambiental para vertimientos (tanto al suelo como a cuerpos de agua) (Figura 78).

## Proyecto Gestión Inteligente del Agua (GIA)

### Plan de mejoramiento en beneficio

**Implementaciones en el plan de beneficio.** En el año 2017 se presentan los resultados de dos metas definidas en el plan de Mejoramiento en finca y región – Beneficio – GIA, desarrollados así: Apoyar el desarrollo de la meta en beneficiaderos comunitarios, y actividades para el cumplimiento de resultados y metas asociados a los indicadores de desempeño.

Para las intervenciones en Beneficiaderos Comunitarios, en el 2016 se seleccionaron siete propuestas, cuatro en el departamento del Cauca en los municipios de Balboa, Inzá, La Sierra y Rosas, y tres para el departamento de Nariño en los municipios de Consacá, La Unión y San Lorenzo. En las Figuras 79 a la 85 se presentan cada uno de los diseños arquitectónicos para los grupos seleccionados. Actualmente los grupos de caficultores se conformaron legalmente y están realizando los comodatos de los predios donde se realizará la construcción; simultáneamente, los Comités de Cafeteros de estos dos departamentos adelantan los presupuestos y cotizaciones de las obras y equipos, de acuerdo a los planos que entregó Cenicafé.



**Figura 78.** Aspectos del montaje de las parcelas experimentales.

### Proyecto de Beneficiaderos Comunitarios para el Cauca:

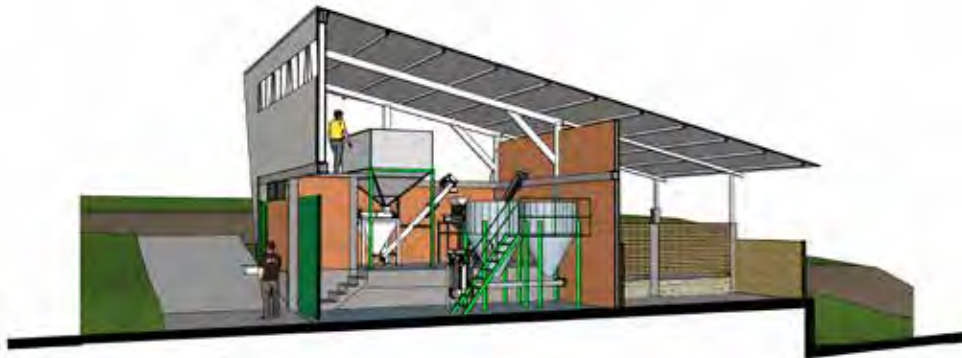


**Figura 79.** Beneficiadero comunitario para el municipio de Balboa.





**Figura 80.** Corte Beneficiadero comunitario de Inzá.



**Figura 81.** Beneficiadero comunitario para el municipio de La Sierra.



**Figura 82.** Figura 18. Corte Beneficiadero comunitario de Rosas.

## Proyecto Beneficiaderos Comunitarios de Nariño:



**Figura 83.** Corte Beneficiadero Comunitario de Consacá.



**Figura 84.** Corte Beneficiadero Comunitario de La Unión.



**Figura 85.** Corte Beneficiadero Comunitario de San Lorenzo.

Para el análisis del impacto de las implementaciones en beneficio por los Comités de Cafeteros de los Departamentos de Antioquia (Tabla 40 y Figura 86), Cauca (Tabla 41 y Figura 87), Caldas (Tabla 42 y Figura 88), Nariño (Tabla 43 y Figura 89) y Valle del Cauca (Tabla 44 y Figura 90), que hacen parte del programa GIA, se realizaron 1.766 intervenciones de implementación de tecnologías limpias, de las cuales se instalaron 648 ahorradores de agua, 455 para tanques tina, 290 despulpadoras, 153 tolvas secas y se construyeron o mejoraron 215 beneficiaderos. Con las intervenciones por departamento se determinó la reducción en el consumo de agua en Antioquia, Caldas, Cauca, Nariño y Valle del Cauca, del 78%, 65%, 47%, 64 % y 62%, respectivamente. El porcentaje promedio de reducción en el consumo de agua para los cuatro departamentos fue del 62%.

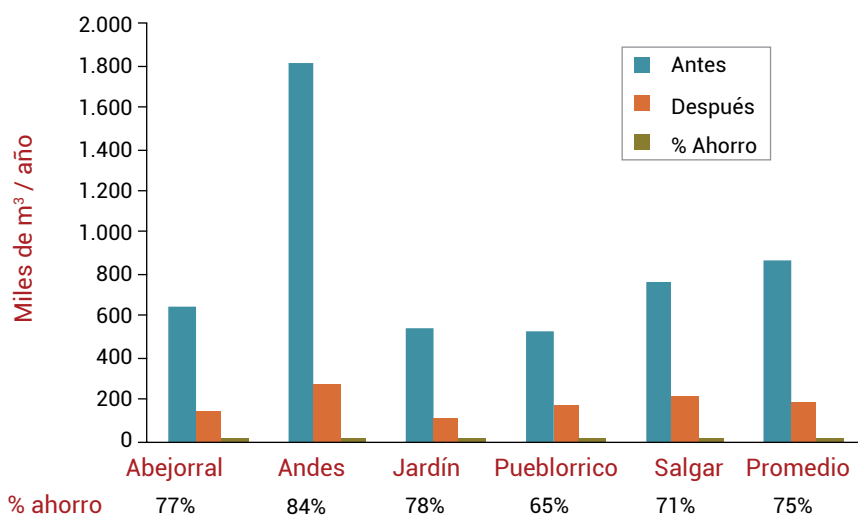
Estos porcentajes manifiestan el cumplimiento del indicador de desempeño del programa GIA, que establece un ahorro mínimo del 10% en el consumo de agua.

**Determinación de la calidad de aguas superficiales en las microcuencas del Programa GIA.** Al comparar los resultados promedio obtenidos en las cuatro campañas de monitoreo, antes de la implementación del Programa GIA y en la actualidad, en las 25 microcuencas cafeteras objeto de evaluación, se evidencia un mejoramiento en la calidad del agua, dado que se presentó, en promedio, una disminución en el deterioro de la calidad del agua en el transecto de estudio (P1-P2) del 86,11%, con mejoría en el 80% de las microcuencas (condiciones iniciales vs condiciones actuales) y del 16,10%, con mejoría en el 76% de las microcuencas (condiciones iniciales vs condiciones promedio).

El 24% de las microcuencas que no mostraron respuesta de mejoramiento en la calidad del agua, fueron seleccionadas para continuar con los estudios de calidad, durante el tiempo que falta para la terminación

**Tabla 40.** Número de intervenciones para el departamento de Antioquia.

Municipio	Despulpadora	Tanque Tina
Abejorral	14	14
Andes	23	23
Jardín	13	10
Pueblorrico	16	15
Salgar	19	18
<b>Total Antioquia</b>	<b>85</b>	<b>80</b>



**Figura 86.** Volúmenes de consumo de agua de las fincas intervenidas, número de intervenciones y porcentaje de ahorro de agua para las microcuencas del departamento de Antioquia.

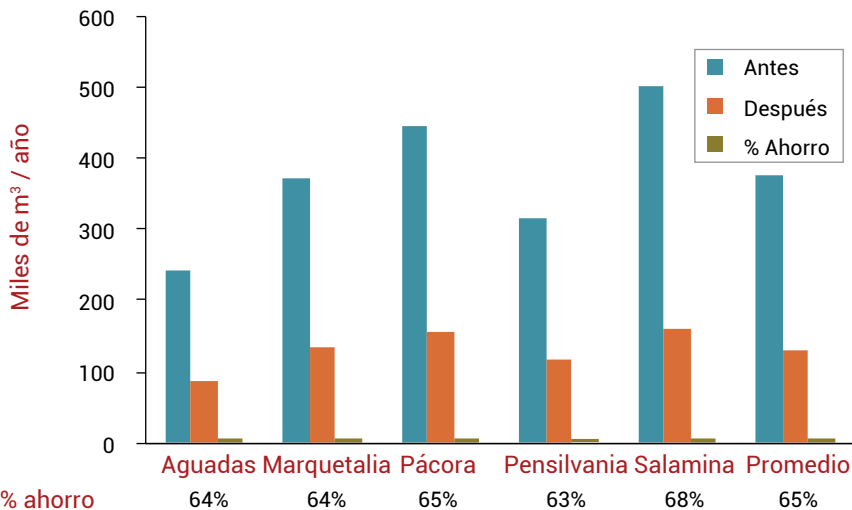
**Tabla 41.** Número de intervenciones para el departamento de Caldas.

Municipio	Despulpadora	Tanque Tina	ECOMILL
Aguadas	14	14	
Marquetalia	14	14	
Pácora	14	14	
Pensilvania	14	14	
Salamina	14	14	3
<b>Total Caldas</b>	<b>70</b>	<b>70</b>	<b>3</b>

del programa. De ellas, ya se llevan dos monitoreos más, en los cuales se ha determinado un mejoramiento del 149,11% con mejoría en el 100% de las microcuencas, al comparar condiciones iniciales vs condiciones actuales y del 7,74%, con mejoría en el 82% de las microcuencas al comparar condiciones iniciales vs condiciones medias (Figura 91a y b). Los monitoreos dinámicos (que incluyen el monitoreo de puntos adicionales en el transecto P1-P2) evidencian que existen fuentes contaminantes de los recursos hídricos de las microcuencas cafeteras diferentes a la actividad cafetera y que en algunas microcuencas estas fuentes contaminantes tienen mayor impacto que el generado por las aguas residuales del beneficio del café.

Los volúmenes promedio estimados de agua mejorada (considerando condiciones iniciales vs condiciones promedio) son del orden de 79.808.432 m<sup>3</sup>/año. Para las condiciones promedio de mejoramiento de agua, el costo estimado de 1 m<sup>3</sup> de agua mejorada, con base en la inversión del Programa GIA (25 millones de euros), sería de \$COP 47 (considerando una vida útil de 20 años en la infraestructura de las implementaciones y manteniendo los volúmenes promedio mejorados).

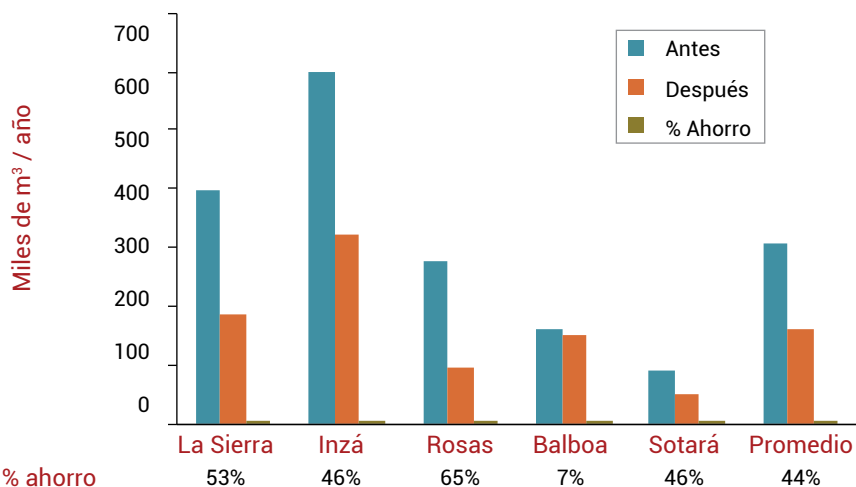
**Tratamiento y ahorro de agua en finca. Gestión integral del recurso hídrico.** Con el fin de asegurar el funcionamiento permanente del SMTA se diseñaron, construyeron y evaluaron nuevos dispositivos que permiten un flujo continuo, evitando los taponamientos



**Figura 87.** Volúmenes de consumo de agua de las fincas intervenidas, número de intervenciones y porcentaje de ahorro de agua para las microcuencas del departamento de Caldas.

**Tabla 42.** Número de intervenciones para el departamento del Cauca.

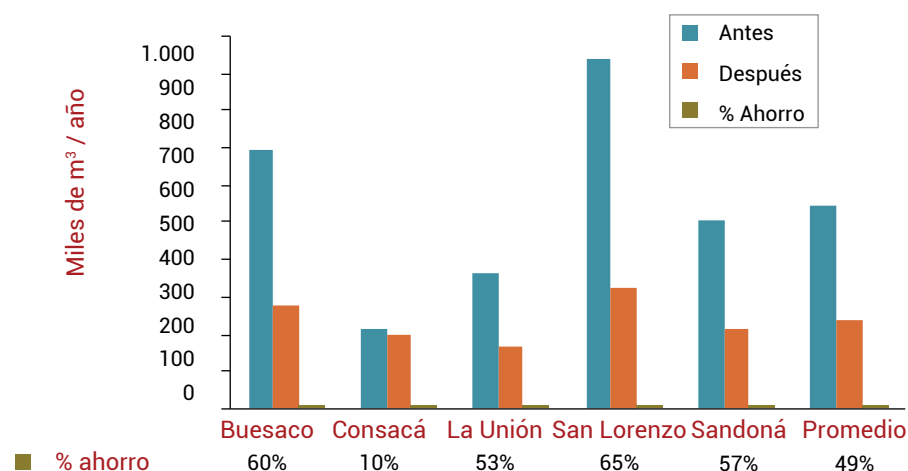
Municipio	Despulpadora	Tanque Tina
La Sierra	3	22
Inzá	2	36
Rosas	4	13
Balboa	3	18
Sotará	0	6
<b>Total Cauca</b>	<b>12</b>	<b>95</b>



**Figura 88.** Volúmenes de consumo de agua de las fincas intervenidas, número de intervenciones y porcentaje de ahorro de agua para las microcuencas del departamento de Cauca.

**Tabla 43.** Número de intervenciones para el departamento de Nariño.

Municipio	Despulpadora	Tanque Tina
Buesaco	13	41
Consacá	13	27
La Unión	16	24
San Lorenzo	25	43
Sandoná	15	35
<b>Total Nariño</b>	<b>82</b>	<b>170</b>

**Figura 89.** Volúmenes de consumo de agua de las fincas intervenidas, Número de intervenciones y porcentaje de ahorro de agua para las microcuencas del departamento de Nariño.**Tabla 44.** Número de intervenciones para el departamento del Valle del Cauca.

Municipio	Despulpadora	Tanque Tina
Bolívar	11	11
Bugalagrande	11	11
Caicedonia	5	6
Sevilla	4	5
Tuluá	10	7
<b>Total Valle del Cauca</b>	<b>41</b>	<b>40</b>

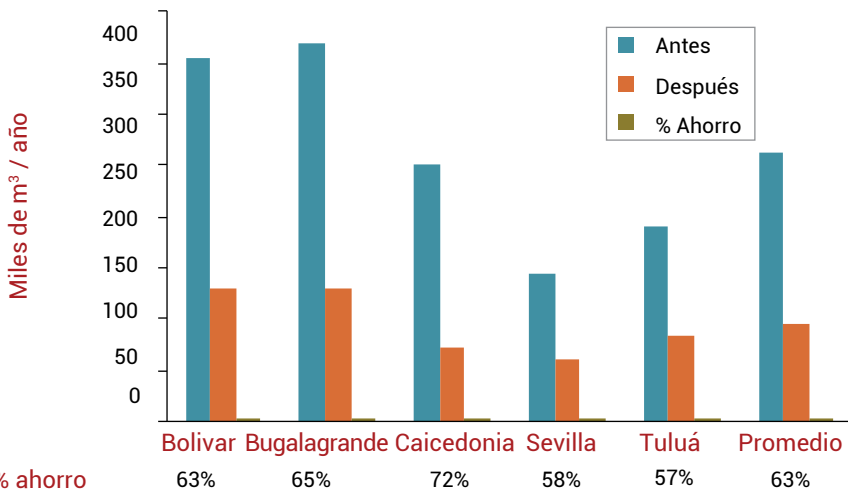
del sistema y que además permiten disminuir sus costos. El dispositivo flotante de cabeza de presión constante, diseñado para reemplazar la recámara dosificadora, con una reducción del 20% del costo aproximado, que permite no sólo mantener un caudal constante, sino que también ha mostrado una remoción de DQO del 53,13% y de sólidos totales del 72,40% (Figura 92 a, b, c).

Con base en los resultados de las investigaciones para el tratamiento de aguas residuales del café, se generaron diferentes alternativas para los caficultores, que les permiten el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en lo relacionado con vertimientos, dependiendo del tipo de beneficio y de la cantidad de agua utilizada en el proceso (Figura 93).

**Huella hídrica asociada a la producción del café.** Se está determinando el valor de la huella hídrica verde, azul y gris en la etapa de cultivo del café (germinador, almácigo, levante y producción) y en la etapa de beneficio, en las Estaciones Experimentales Naranjal, El Rosario y El Tambo, con el fin de presentar estrategias que permitan optimizar el uso del recurso hídrico. Al momento se están realizando los balances hídricos y caracterizando las muestras provenientes de las parcelas de escorrentía y de las cápsulas de succión enterradas en el terreno.

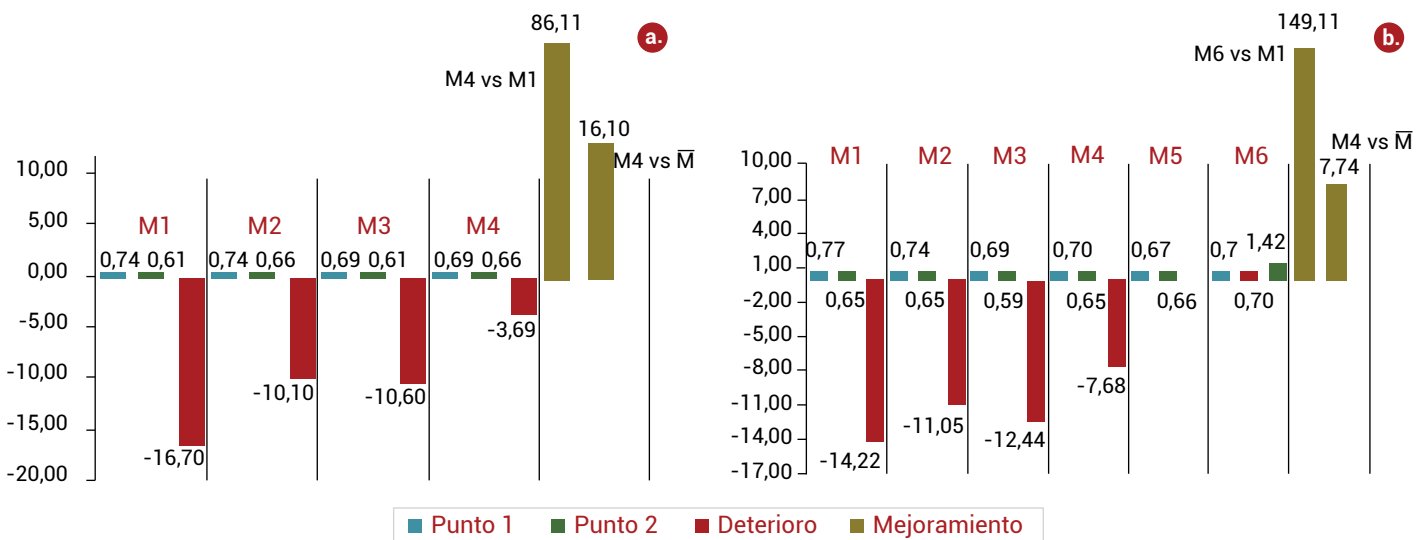
**Generación de un índice de vulnerabilidad del territorio ante la amenaza climática.**

Se construyó el índice de vulnerabilidad de los recursos hídricos del territorio



**Figura 90.** Volúmenes de consumo de agua de las fincas intervenidas, número de intervenciones y porcentaje de ahorro de agua para las microcuencas del departamento del Valle del Cauca.

ante la amenaza climática, considerando aspectos tales como: el caudal ambiental, el índice de Falkenmark, el índice de calidad físico-químico del agua (ICA-NSF), el índice biológico BMWP/Col y el índice de calidad de hábitat (SVA), los cuales se evaluaron en las microcuencas del río Chambery (Salamina), quebrada La Tabor (Balboa) y quebrada La Yaruma (Santuario). Los resultados muestran que en alguna de las campañas de monitoreo, se ha presentado vulnerabilidad media en las microcuencas de Balboa y Santuario evaluadas.



**Figura 91. a.** Mejoramiento en la calidad del agua superficial en 25 microcuencas cafeteras. **b.** Mejoramiento en la calidad del agua superficial en microcuencas cafeteras con monitoreo dinámico.

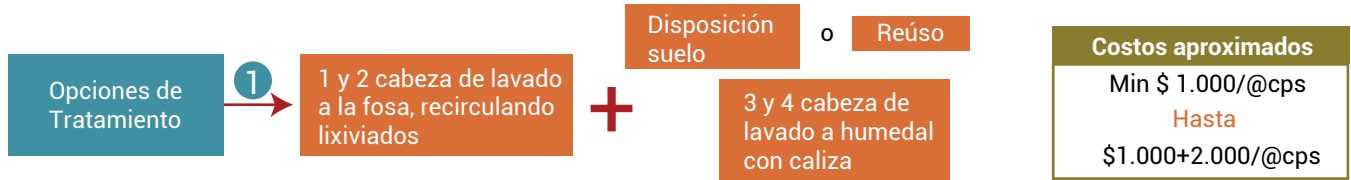


**Figura 92. a.** Dispositivo instalado en el interior del reactor hidrolítico-acidogénico de los SMTA. **b.** Dispositivo flotante de cabeza de presión constante del SMTA. **c.** Aspecto del agua de ingreso y de salida del dispositivo flotante.

## Alternativas de tratamiento de las ARC

**Finca 2 ha**

Producción: 140 @ cps/ha-año  
 Producción finca: 280 @ cps/año  
 Día pico: 8,5 @ cps (3%). Tanque Tina: 5L.kg<sup>-1</sup> cps.  
 Agua residual generada día pico: 532 L



Tejado en zinc  
 Tal : 500 L  
 Ancho fosa : 3m  
 Largo fosa : 7m  
 Tlix : 250 L

Área 21 m<sup>2</sup>  
 Cuatro compartimientos de 5,25 m<sup>2</sup>  
 Volteos quincenales  
 Costo estimado: \$ 2,5 millones  
 Vida útil 10 años

Área 4 m<sup>2</sup>  
 1m ancho \* 4 m largo  
 Profundidad : 0,5 m  
 Volumen 2000 L  
 Costo estimado: \$ 250.000  
 Vida útil 5 años

Área 1 m<sup>2</sup>  
 1 m ancho \* 1 m largo  
 40 mm  
 Costo estimado: \$ 100.000  
 Vida útil 5 años

Impacto final: Entre 0 y 6 kg DBO/ha-año

**Figura 93.** Alternativas para fincas con una producción de 280 @.año<sup>-1</sup> de cps y lavado del café en tanques de fermentación.

## Suelos



### **R**estaurar predios afectados por procesos erosivos, en las microcuencas asociadas al proyecto GIA.

Con el fin de restaurar predios afectados por procesos erosivos, en las microcuencas asociadas al proyecto GIA, durante el este período se asesoró la implementación de restauración ecológica de nueve sitios afectados por movimientos en masa en las localidades (Tabla 45). En ellos, se elaboraron estructuras en guadua, tales como terrazas, trinchos con vertedero, terrazas escalonadas, filtros y cubrimiento del talud con biomanto y material vegetal (Figura 94 a 99). De igual manera, se acompañó la implementación de prácticas de conservación de suelos en lotes de café en diez localidades (Tabla 46). Se hizo énfasis en el manejo integrado de arvenses, barreras vivas de plátano, guamo, limoncillo y carey (Figura 100 a 104).

### **Evaluación de la vulnerabilidad del suelo en el cultivo del café a la variabilidad climática.**

Se continuó con la evaluación de la vulnerabilidad del suelo en el cultivo de café a la variabilidad climática, mediante

la evaluación de tres índices, en 438 predios cafeteros de los departamentos de Risaralda y Caldas (Balboa: 141; Salamina: 150; Santuario: 147). En la evaluación del índice de vulnerabilidad a la disponibilidad y conservación de nutrientes en el suelo, se tomaron muestras de suelo en la totalidad de los lotes y se vienen realizando los respectivos análisis fisicoquímicos.

La evaluación del índice de vulnerabilidad por pérdida de nutrientes por lixiviación, se está realizando en el laboratorio, con suelo de las unidades cartográficas Catarina y Chinchiná, recolectadas en el municipio de Santuario (Risaralda); en las cuales se están cuantificando el lavado de Ca, Mg, K y P (Tabla 47), después de ser sometidos a continuas aplicaciones de agua, que simulan la



**Figura 94.** Trinchos con vertedero. Municipio de Jardín, Antioquia.



**Figura 95.** Filtros con soporte. Municipio de Bolívar, Valle del Cauca.





**Figura 96.** Terrazas en guadua. Municipio de La Sierra, Cauca.



**Figura 97.** Terrazas escalonadas. Municipio de Sotará, Cauca.



**Figura 98.** Cubrimiento del talud con biomanto y material vegetal. Municipio de Sandoná, Nariño.



**Figura 99.** Cubrimiento del talud con biomanto y material vegetal. Municipio de Consacá, Nariño.



**Figura 100.** Manejo integrado de arvenses. Municipio de Bolívar, Valle del Cauca.



**Figura 101.** Barrera viva con plátano. Municipio de Caicedonia Valle del Cauca.

precipitación media del municipio donde fueron recolectados los suelos (Figura 105).

Adicionalmente, a los suelos que presentan condiciones limitantes por acidez se les está evaluando la lixiviación de los nutrientes, luego de aplicar la enmienda (cal o yeso).

En la evaluación del índice de vulnerabilidad por pérdida de suelo se estudia la vulnerabilidad por erosión hídrica y por el uso actual del suelo. En la primera, por medio de lluvia simulada, se cuantificó el índice de erodabilidad "K" a 42 muestras de suelo, pertenecientes a las unidades de suelo de



**Figura 102.** Barrera viva con guamo. Municipio de Sotará, Cauca.



**Figura 103.** Barrera viva con limoncillo. Municipio de Sevilla, Valle del Cauca.



**Figura 104.** Barrera viva con carey. Municipio de Sevilla, Valle del Cauca.

**Tabla 45.** Ubicación de los sitios afectados por movimientos en masa restaurados ecológicamente.

Departamento	Municipio	Microcuenca	Lat. (N)	Long. (W)	Altitud (m)
Antioquia	Jardín	San Bartolo	0537' 43,066"	75 51'27,133"	1.612
Valle del Cauca	Bolívar	Río Platanares	04 19'38,436"	76 16' 34,887"	1.812
Cauca	Sotará	Río Quilcac	2 16' 00,77302"	7640'57,7976"	1.874
	Rosas	El Márquez	02 14' 10,70439"	7643'15,10687"	1.808
	Balboa	Río Capitanes	2 08'54,61093"	77 10'14,96012"	1.725
	La Sierra	Río La Esmita	2 12'45,64930"	76 43'00,58301"	1.896
	Inz	La Chorrera	2 28'57,16596"	76 03'07,57341"	1.600
Nariño	Sandoná	Ingenio	01 18' 58,49503"	77 28' 01,47607"	1.772
	Consacá	Río Azufral	01 12' 38,8465"	77 25' 52,42518"	2.043

la zona cafetera, de los tres municipios. Los valores encontrados fueron menores a  $0,017 \text{ t.ha.MJ.mm.ha}^{-1}$ , lo que corresponde a un nivel de vulnerabilidad muy bajo ante fenómenos torrenciales con poder erosivo promedio de  $1.799,15 \text{ MJ.mm.ha.h}^{-1}$ .

**ndice vulnerabilidad del uso actual del suelo – IVUS.** Con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad del suelo al efecto de la variabilidad climática en el cultivo de café, se aplicó una encuesta de 14 preguntas en las fincas cafeteras seleccionadas por el proyecto "Evaluación de la vulnerabilidad del suelo en el cultivo del café a la



**Figura 105.** Evaluación de nutrientes por lixiviación.

**Tabla 46.** Ubicación de lotes donde se acompañó la implementación de prácticas de conservación de suelos en lotes de café.

Departamento	Municipio	Microcuenca	Lat. (N)	Long. (W)	Altitud (m)
Valle del Cauca	Caicedonia	Barragán	4° 15 18,63817	75° 49 52,52967	1820
	Sevilla	San Marcos	4° 15 51,75875	75° 57 22,26092	1.584
	Bugalagrande	La Paila	4° 08 09,13400	76° 02 52,84395	1.793
	Tuluá	Bugalagrande	4° 07 28,99958	75° 58 34,32798	1.764
	Bolívar	Río Platanares	4° 23 38,85759	76° 14 58,37542	1.779
Cauca	Sotará	Río Quilcacé	2° 15 44,31011	76° 41 05,66648	1.683
	Rosas	San Tomas	2° 14 13,12980	76° 43 00,38848	1.882
	La Sierra	Río Esmita	2° 13 01,50375	76° 43 06,54322	1.806
	Balboa	Río Capitanes	2° 09 12,45325	77° 10 34,29263	1.992
	Inzá	La Chorrera	02° 13 06,5	076° 43 03,4	2.085

**Tabla 47.** Dosis de fertilizantes y enmiendas empleadas en la evaluación de lixiviación.

Tratamiento	Cantidad, (g/tubo)					
	Dolomita	Yeso	KCl	Kieserita	Urea	DAP
1	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	6,0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0
5	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	6,0	3,3	0,0	0,0
7	12,0	0,0	6,0	3,3	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
10	0,0	0,0	6,0	3,3	3,0	0,0

\* Incorporada.

variabilidad climática", para así valorar el uso actual del suelo. El diligenciamiento de la encuesta se realizó para evaluar y tomar los datos directamente en la finca.

Para la valoración del IVUS se realizaron 143 encuestas en el municipio Santuario (Risaralda), 149 en Balboa (Risaralda) y 144 en Salamina (Caldas). Se evaluó con valoración porcentual (%) el estado de la finca del caficultor, bajo

los criterios del sistema agrícola, manejo del suelo, protección de fuentes hídricas y erosión del suelo. Se creó un formato de Excel para calificar el IVUS, en las siguientes categorías, a partir de los porcentajes registrados en las encuestas: muy baja (1), baja (2), medio (3), alto (4), muy alto (5) (Tabla 48). La categorización de los porcentajes fue planteada a partir del juicio de expertos con la construcción de una escala valorativa.

Con base en las categorías, y según el conocimiento de expertos, se establecieron valores de peso del uso del suelo, para obtener ponderaciones de los criterios del sistema agrícola, manejo del suelo, protección de fuentes hídricas y erosión del suelo. Los valores ponderados de cada criterio fueron utilizados en una ecuación global de vulnerabilidad, generando de esta manera el IVUS de cada finca (Tabla 49).

**Caracterización regional de la fertilidad del suelo.** El desarrollo de esta investigación tiene como objetivo caracterizar regionalmente la fertilidad del suelo en la zona cafetera mediante el uso de la información histórica. Durante este período se analizó una nueva base de datos, correspondiente al departamento de Cauca, conformada por 16.439 registros, de los cuales 8.542 fueron proporcionados por Starbucks. Se efectuó un análisis descriptivo de la información por municipio y se determinó para cada propiedad química analizada (pH, materia orgánica-MO, P, K, Ca, Mg, Al, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva-CICE, Suma de bases y saturación de Al), la frecuencia según los rangos establecidos

**Tabla 48.** Muestra del formato condicional donde se presentan las categorías calculadas en el criterio de sistema agrícola del IVUS; fincas de la vereda Águila Alta (Santuario-Caldas).

Vereda	Finca	Productor	E 1.1*	E 1.2	E 1.3
Águila Alta	Finca 1	J.I.S.V.	5	1	1
Águila Alta	Finca 2	A.C.A.	5	1	1
Águila Alta	Finca 3	M.O.Q.	5	1	1
Águila Alta	Finca 4	L.A.G.	1	1	1
Águila Alta	Finca 5	J.N.O.G.	5	1	1
Águila Alta	Finca 6	N.C.H.A.	5	1	1

\*E 1.1, E 1.2, y E 1.3 se refieren a las preguntas de 1 a 3 en la encuesta.

**Tabla 49.** Muestra del cálculo del IVUS en fincas de la vereda Águila Alta (Santuario-Caldas).

Vereda	Finca	Productor	Sis. Agrico.*	Man Sue.	Pro. Fu. Hi.	Ero. Sue.	IVUS
Águila Alta	Finca 1	J.I.S.V.	2,2	2,2	3,05	4,75	3,39
Águila Alta	Finca 2	A.C.A.	2,2	1,6	3,8	4,5	3,26
Águila Alta	Finca 3	M.O.Q.	2,2	3,4	4,7	4,5	3,98
Águila Alta	Finca 4	L.A.G.	1,0	2,6	4,25	4,75	3,63
Águila Alta	Finca 5	J.N.O.G.	2,2	4,0	4,45	4,25	4,01
Águila Alta	Finca 6	N.C.H.A.	2,2	2,8	4,7	4,25	3,7

\*Sis.Agrico. Sistema agrícola; Man.Sue. Manejo del suelo; Pro. Fu. Hi. Protección de fuentes hídricas; Ero. Sue. Erosión del suelo; IVUS. Índice de vulnerabilidad del uso actual del suelo.

para café en el país. En la Tabla 50 se presenta la información correspondiente a la estadística descriptiva para las propiedades evaluadas a nivel departamental, y en la Tabla 51 se consigna, como ejemplo, la frecuencia de muestras correspondientes a cada rango del pH.

**Determinar la capacidad de almacenamiento de agua de las unidades cartográficas de suelo más comunes de la región cafetera colombiana.** En este período la investigación se enfocó en las unidades de suelo del departamento de Huila, con el objetivo de determinar la capacidad de almacenamiento de agua de las unidades cartográficas de suelo más comunes de la región cafetera colombiana. Se cuantificó la capacidad de almacenamiento de agua para ocho de las nueve unidades cartográficas de suelo más comunes (Tabla 52, Figura 106), en los siete municipios con mayor área sembrada en café. Además, se midieron otras variables edáficas secundarias relacionadas con la variable de interés, tales como textura, densidades aparente y real, contenido de materia orgánica, conductividad hidráulica y distribución de agregados.

**Tabla 50.** Estadística descriptiva para propiedades químicas del suelo.

Variable	Promedio	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
pH	4,90	4,90	3,60	7,90	9,90
MO, %	10,83	9,90	0,00	39,00	53,88
P, mg. kg <sup>-1</sup>	10,00	4,00	0,00	833,00	274,59
K, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	0,38	0,30	0,00	11,45	87,59
Ca, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	3,68	2,20	0,00	71,46	110,78
Mg, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	1,44	0,80	0,00	25,90	128,23
Al, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	1,44	1,20	0,00	55,90	100,90
CICE, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	6,94	5,27	0,23	72,03	77,47
Suma de bases, cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>	5,51	3,51	0,10	72,03	102,64
Saturación Al, %	29,66	26,39	0,00	98,89	77,92

A la fecha, los resultados muestran que la retención de humedad volumétrica a 0,033 MPa para la región cafetera del Huila está entre 52,29% y 29,89%, y a 1,5 MPa entre 38,40% y 12,60%. La densidad real entre 1,76 y 2,90 g.cm<sup>-3</sup> y la aparente entre 1,53 y 0,54 g. cm<sup>-3</sup>, y los contenidos de materia orgánica entre 23,39% y 3,50%. Lo anterior indica que las unidades de suelos en la región cafetera del Huila son altamente contrastantes y es necesario tener las unidades plenamente definidas y caracterizadas al momento de recomendar un manejo específico al caficultor.

**Disponibilidad de fósforo en suelos de la zona cafetera colombiana.** Esta investigación tiene como objetivo evaluar la disponibilidad de fósforo-P en la zona cafetera de Colombia y su relación con las propiedades del suelo. Para su cumplimiento, se seleccionaron 14 muestras procedentes de diferentes departamentos cafeteros del país (Antioquia, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño,

Norte de Santander, Quindío, Santander y Tolima), a las cuales se les determinó su capacidad de adsorción de P, además de algunas propiedades químicas y mineralógicas. Los resultados obtenidos se modelaron de acuerdo con las ecuaciones de Langmuir y Freundlich, a partir de las cuales se determinó la máxima capacidad de adsorción de P y la cantidad requerida para mantener en solución 0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P (concentración que se considera adecuada para el crecimiento de las plantas).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 107), las muestras provenientes de Antioquia, Caldas, Cauca y Tolima poseen la mayor capacidad para fijar P (1.250 a 3.333 mg.kg<sup>-1</sup> de P de suelo), mientras que los suelos de Magdalena y Nariño presentaron la menor capacidad (263-556 mg.kg<sup>-1</sup> de P de suelo). Con respecto a la concentración de referencia (0,2 mg.L<sup>-1</sup> de P), los suelos se agruparon en cinco categorías de fijación: muy alta en Antioquia y Tolima; alta en Caldas y Cauca; media en

Caquetá, Casanare, La Guajira, Huila, Meta y Santander; y baja en Magdalena, Norte de Santander, Nariño y Quindío. La fijación alta y muy alta se relacionó con los contenidos de óxidos y materiales amorfos; en este sentido, las muestras de Antioquia, Cauca y Tolima exhibieron los siguientes valores: 78%, 76% y 75%, respectivamente. Un paso final de la investigación consiste en correlacionar la disponibilidad de P con las demás propiedades de los suelos.

**Evaluación de la fertilidad del suelo en la zona cafetera de Huila.** Esta investigación, enmarcada dentro del proyecto de Sistema General de Regalías, tiene los siguientes objetivos específicos: i) Caracterizar la fertilidad de los suelos de la región cafetera de Huila, ii) Evaluar la dinámica de las propiedades químicas del suelo y iii) Definir recomendaciones para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de cafetales en las diferentes etapas del cultivo. Durante el segundo

**Tabla 51.** Frecuencia de muestras analizadas para pH por municipio y rango de fertilidad.

Municipio	pH≤4,5	4,5<pH≤5,0	5,0<pH≤5,5	5,5<pH≤6,0	6,0<pH
Almaguer	27,35	42,86	22,86	5,71	1,22
Argelia	7,14	35,71	41,43	15,71	-
Balboa	16,41	39,84	32,81	9,38	1,56
Bolívar	7,84	48,73	38,35	4,66	0,42
Buenos Aires	39,43	39,43	15,21	3,61	2,32
Cajibío	22,31	48,59	24,90	3,90	0,31
Caldono	30,17	48,46	17,74	2,79	0,84
Caloto	24,65	37,32	24,65	11,74	1,64
Corinto	22,88	33,02	19,34	14,62	10,14
Florencia	8,57	55,71	31,43	4,29	-
Inzá	22,49	35,91	25,51	10,76	5,32
Jambaló	21,71	40,31	20,16	16,28	1,55
La Sierra	13,10	40,30	39,04	7,30	0,25
La Vega	23,57	42,29	26,88	6,37	0,89
Mercaderes	7,78	45,56	36,67	6,67	3,33
Miranda	32,85	36,50	25,55	5,11	-
Morales	28,12	46,49	23,71	1,50	0,19
Páez	19,02	37,79	26,48	10,80	5,91
Patía	-	9,30	55,81	30,23	4,65
Piendamó	16,27	53,22	27,43	2,60	0,48
Popayán	13,81	45,65	31,59	7,84	1,12
Puracé	-	13,64	50,00	22,73	13,64
Rosas	16,18	48,55	27,05	6,76	1,45
S. Quilichao	35,39	35,92	19,05	7,45	2,18
San Sebastián	13,24	45,59	25,00	7,35	8,82
Sotará	22,96	43,88	31,12	2,04	-
Suárez	75,98	20,67	2,79	0,56	-
Sucre	13,79	51,72	31,03	3,45	-
El Tambo	19,36	51,30	25,62	3,44	0,28
Timbio	11,12	48,23	33,97	5,76	0,91
Toribio	24,48	36,31	21,93	9,63	7,66
Totoró	-	52,63	35,09	10,53	1,75

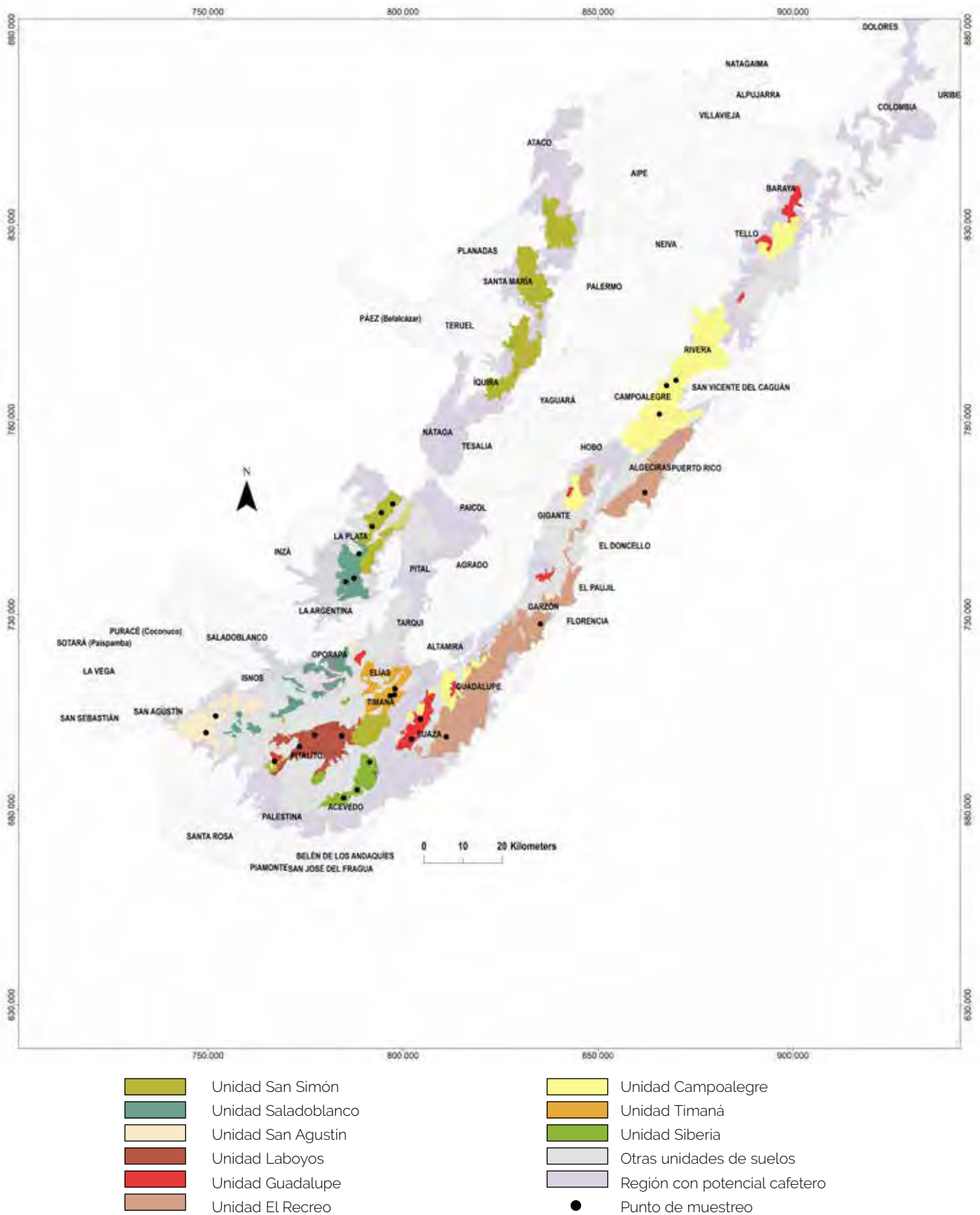


Figura 106. Mapa de unidades de suelo de la región cafetera del Huila y espacialización de los sitios muestreados.

**Tabla 52.** Ubicación de los puntos del muestreo por unidad de suelo y municipio en la zona cafetera del departamento de Huila.

Unidad de suelo	Lote muestreado			
	Municipio	Coordenada en X	Coordenada en Y	Altitud (m)
Campoalegre	Campoalegre	865306	781953	1516
	Campoalegre	864369	778460	1602
	Campoalegre	867570	788759	1092
El Recreo	Suaza	810956	698388	1300
Guadalupe	Algeciras	861981	761310	1884
	Pitalito	767275	692465	1480
	Suaza	804443	703215	1298
	Suaza	800195	702293	1576
	Pitalito	767312	694677	1371
Laboyos	Pitalito	773656	696158	1304
	Pitalito	777416	699478	1274
	La Plata	785347	738437	1561
Saladoblanco	La Plata	787458	739358	1457
San Agustín	La Plata	788727	745657	1308
	San Agustín	750224	698490	1639
	San Agustín	749504	699757	1956
	San Agustín	751972	704040	1817
	La Plata	792547	751944	1258
San Simón	La Plata	794400	756178	1249
Timaná	La Plata	797276	758760	1432
	Timaná	796667	709238	1189
	Timaná	798017	709762	1343

año se tomaron 1.256 muestras de suelo para el análisis químico y 263 muestras para el análisis físico en los municipios de Acevedo, Agrado, Altamira, Garzón, Guadalupe, La Argentina, La Plata, Nátaga, Paicol, Suaza, Tarqui y Tesalia.

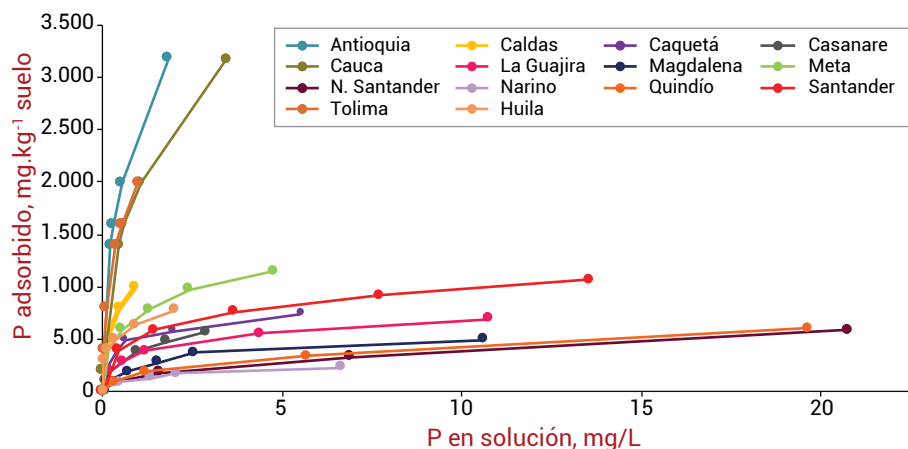
Se identificaron los bajos contenidos de la materia orgánica, como el limitante más común de la producción de café en las áreas estudiadas, como la propiedad que determina la disponibilidad de nitrógeno para las plantas y que afecta de manera negativa algunas propiedades físicas, en particular la porosidad y la retención de humedad. En la mayoría de las muestras analizadas

(60%) se detectó acidez (valores del pH menores de 5,0); condición que se refleja en los contenidos de aluminio intercambiable. Los niveles del azufre fueron bajos en la mayoría de los lotes estudiados, en tanto que la situación para el fósforo, potasio, calcio y magnesio no fue tan crítica. En cuanto a los elementos menores, son muy altos los niveles de hierro, medios los de cobre, manganeso y zinc, y bajos los de boro.

Mediante técnicas de laboratorio, se determinó la dinámica de nutrientes (fósforo, calcio, magnesio y potasio) y las dosis de cal requeridas para la corrección de la acidez en las unidades cartográficas del suelo Salado Blanco, El Recreo, La Cristalina, Campoalegre y San Simón. Los resultados obtenidos sugieren que para la mayoría de las localidades la retención de fósforo es baja y, por lo tanto, una buena porción del elemento aplicado vía fertilización estará disponible para las plantas. Se determinaron las cantidades de cal para neutralizar la acidez. Según los resultados obtenidos se generaron recomendaciones para el manejo de la fertilidad del suelo y la nutrición de los cafetales en las dos etapas fenológicas del cultivo (levante y producción).

**Evaluación de la fertilización química y orgánica en el incremento de las poblaciones de bacterias edáficas que metabolizan las formas inorgánicas del nitrógeno.** El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante en la producción de café. Su eficiencia en el aprovechamiento por el cultivo está condicionada por aspectos físicos, químicos y microbiológicos del suelo. Con el objetivo de estudiar





**Figura 107.** Isotermas de adsorción de fósforo-P para 14 suelos de la zona cafetera de Colombia.

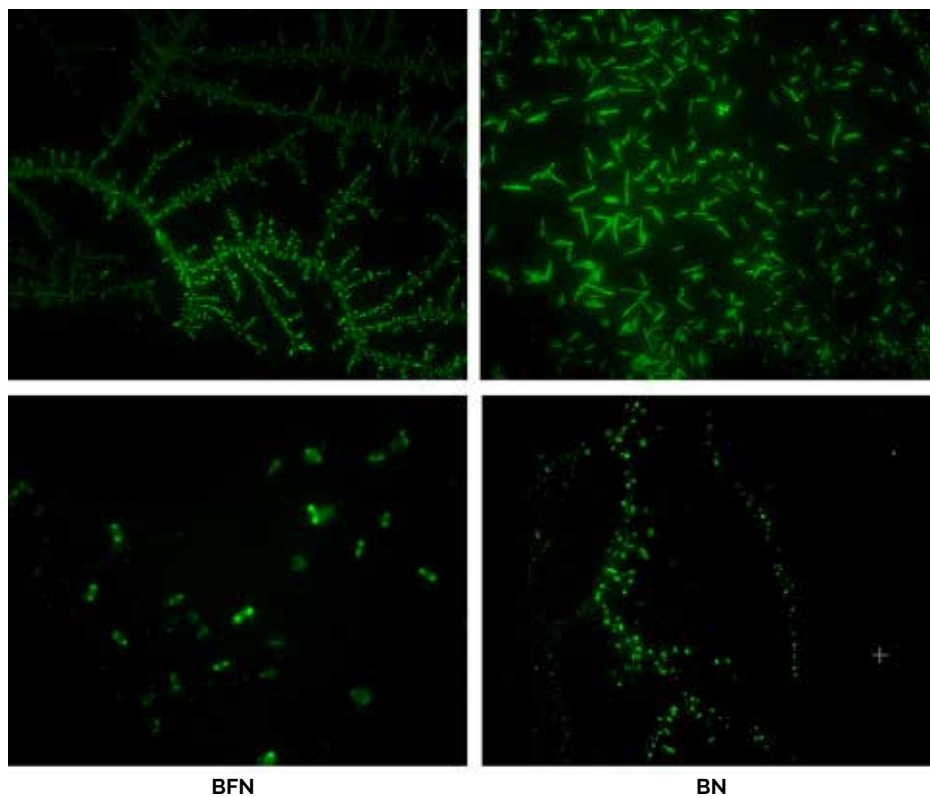
el efecto de la fertilización nitrogenada en las poblaciones de bacterias fijadoras de N de vida libre (BFN), bacterias nitrificantes (BN) y bacterias desnitrificantes (BDN), se desarrolló un experimento en la Estación Experimental La Catalina, en donde se evaluaron tres tratamientos: pulpa de café descompuesta (PC) y urea (U), aplicados en un cafetal en producción; además, se contó con un testigo sin aplicación de fertilizante. En esta vigencia, se presentan los resultados obtenidos para las BFN y BN.

Para alcanzar el objetivo propuesto, a través de una metodología de microscopía de fluorescencia previamente estandarizada para las condiciones del estudio, se cuantificaron las células viables de los grupos funcionales de interés. Los resultados correspondientes a la fase de estandarización, permitieron observar las células viables teñidas con el colorante naranja de acridina a una concentración de 0,05% y cuantificar entre 20 y 200 células/campo del microscopio, con un factor de dilución de 1:2.400. Además, dicho proceso permitió diferenciar la morfología y

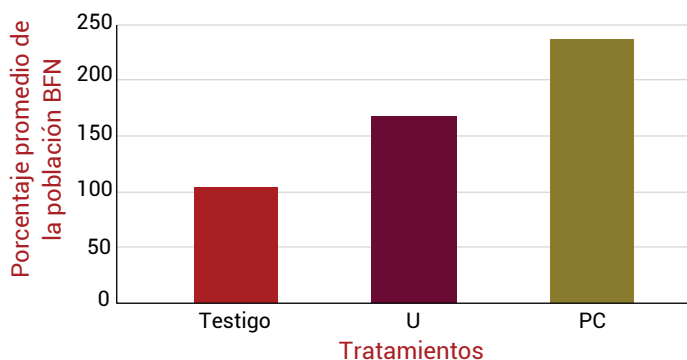
el tamaño celular entre las poblaciones (Figura 108). Con relación al efecto de los tratamientos, evaluaciones realizadas durante tres meses luego de su aplicación, permitieron establecer con respecto al testigo, que la

población de BN se incrementó en 65% cuando se aplicó U, y en 130% con el suministro de PC (Figura 109). En contraste, la población de BFN no se afectó con la aplicación de estos fertilizantes (Figura 110). Adicionalmente, se encontró que el número de BN superó a las de BFN, independientemente del tratamiento (Figuras 111, 112 y 113); en este sentido, las poblaciones de BN fueron 15, 21 y 32 veces más abundantes, comparadas con las poblaciones de BFN en los tratamientos testigo, U y PC, respectivamente. Dado que este comportamiento no se debe al suministro de fertilizantes, otras variables podrían ser contempladas para explicarlo.

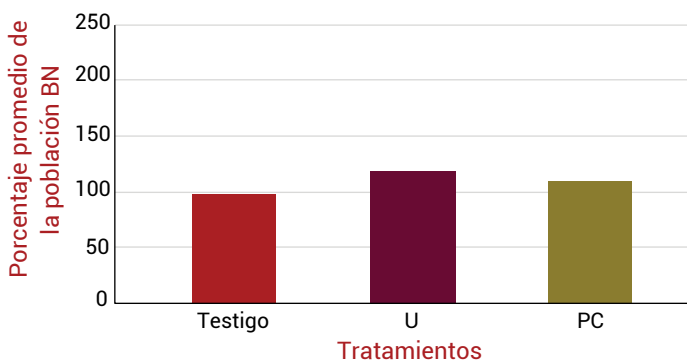
**Corrección de la acidez del suelo en el establecimiento del café.** Uno de los problemas comunes en la mayoría de las



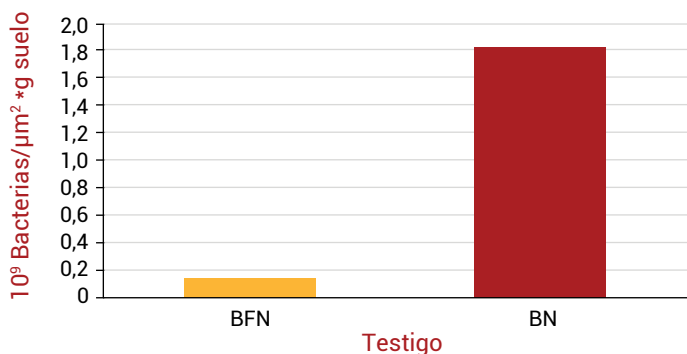
**Figura 108.** Morfología de las poblaciones estudiadas. Se observan células viables bajo microscopía de fluorescencia empleando el objetivo 40X. A la izquierda, poblaciones de BFN: Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre; a la derecha, poblaciones de BN: Bacterias nitrificantes.



**Figura 109.** Efecto de los tratamientos sobre las poblaciones de BFN, luego de tres meses de ser aplicados. U: urea, PC: pulpa de café descompuesta.

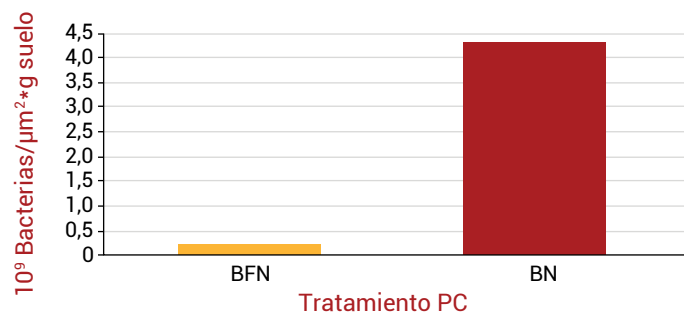


**Figura 110.** Relación del número promedio de población de BN respecto a BFN en el tratamiento testigo. BFN: Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, BN: Bacterias nitrificantes.

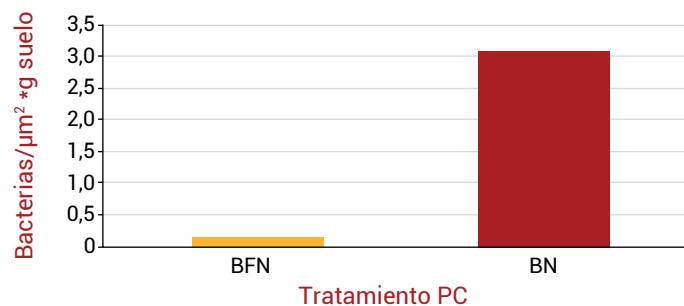


**Figura 111.** Relación del número promedio de población de BN respecto a BFN en el tratamiento testigo. BFN: Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, BN: Bacterias nitrificantes.

regiones cafeteras del país es la acidez del suelo. La manera eficiente de corregir esta condición consiste en incorporar cal al momento de la siembra. Esta investigación, desarrollada en la Estación Experimental Paraguaicito, tiene como propósito generar información acerca del efecto del encalamiento al momento de la siembra en el manejo de la acidez del suelo y el crecimiento del café. Como tratamientos se están evaluando



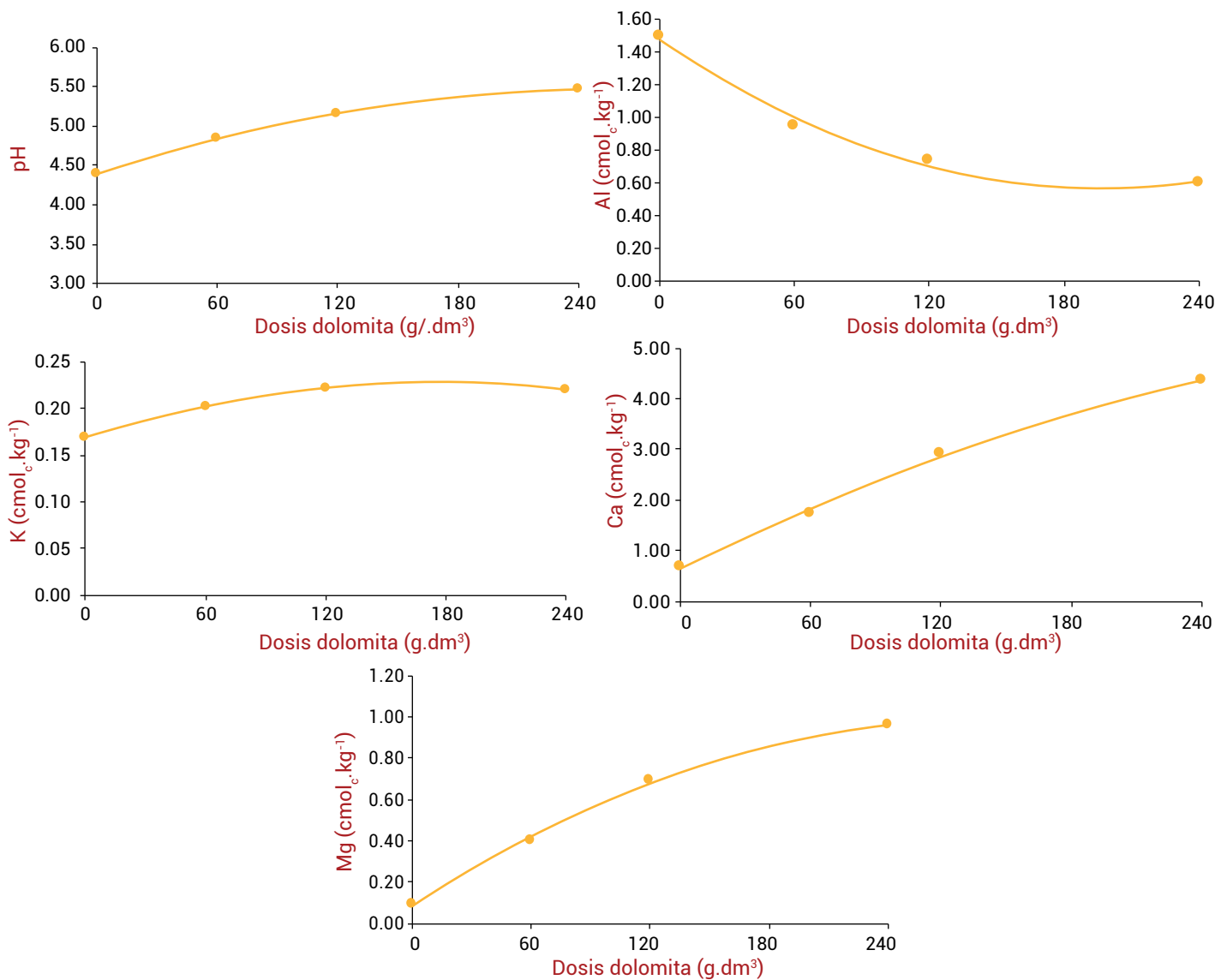
**Figura 112.** Relación del número promedio de población de BN respecto a BFN en el tratamiento PC. BFN: Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, BN: Bacterias nitrificantes, PC: pulpa de café descompuesta.



**Figura 113.** Relación del número promedio de población de BN respecto a BFN en el tratamiento U. BFN: Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, BN: Bacterias nitrificantes, U: Urea.

cuatro dosis de caliza dolomítica (0, 1,25, 2,50, 5,00 y 10,00 g.dm<sup>-3</sup>), incorporada al suelo antes de la siembra. Para la presente vigencia, se presenta el efecto de los tratamientos en las propiedades químicas del suelo (pH, aluminio-Al, calcio-Ca, magnesio-Mg y potasio-K).

La acidez del suelo se corrigió conforme a las dosis suministradas; en este sentido, se requirieron 95 g.dm<sup>-3</sup> de cal para elevar el pH desde un valor de 4,39 hasta 5,00 (Figura 114); pese a lo anterior, con las máximas dosis no fue posible llegar a un valor de 5,5 (límite superior del rango óptimo). Lo anterior estaría relacionado tanto con las propiedades químicas como físicas del suelo. En promedio, los valores más bajos de Al (0,6 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) se alcanzaron con las dosis más altas de caliza (240 g.dm<sup>-3</sup>). Los contenidos de Ca, Mg y K se incrementaron hasta alcanzar niveles relativamente altos para café; en este sentido, con la dosis de 95 g.dm<sup>-3</sup>, se lograron los siguientes valores: 2,47 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de Ca, 0,59 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de Mg y 0,22 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de K. En la Figura 115 se presentan los valores de calcio-Ca, magnesio-Mg y aluminio-Al intercambiables en función del pH del suelo.



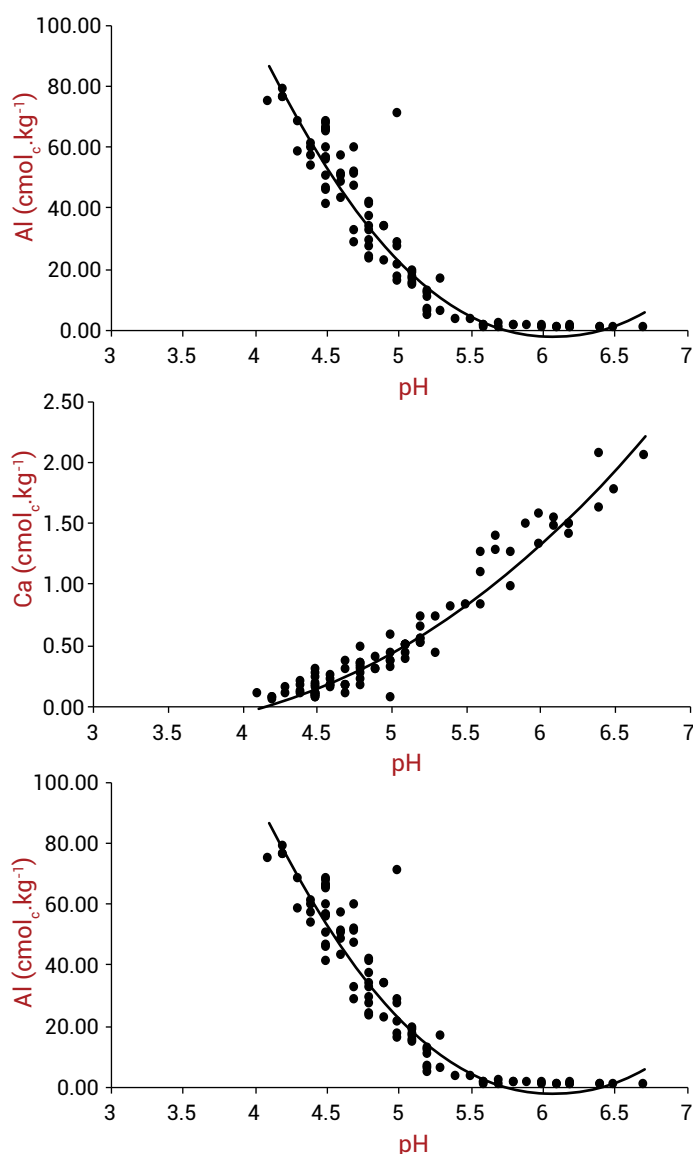
**Figura 114.** Cambios en el pH y los contenidos de calcio-Ca, magnesio-Mg, potasio-K y aluminio-AL intercambiables, en respuesta a las dosis de caliza dolomita.

**Efecto de fuentes y dosis nitrógeno en la producción de café.** El nitrógeno-N es el nutriente más limitante en la producción de café, tanto en la etapa de levante como en la reproductiva. Esta investigación, desarrollada en la Estación Experimental El Rosario, tuvo como objetivo evaluar el efecto de fuentes y dosis nitrógeno, aplicado en el ciclo de plantilla, en la producción de café luego de la zoca. En el experimento original se aplicaron como tratamientos, 0, 200, 300 y 400 kg.ha-año<sup>-1</sup> de N, empleando como fuentes urea, urea Entec y nitrato de amonio. Luego de cuatro años de cosecha, la plantación se renovó por zoca y durante los siguientes 24 meses recibió una fertilización según análisis de suelos. La producción correspondiente a la primera cosecha luego de la renovación, (obtenida entre los meses de octubre

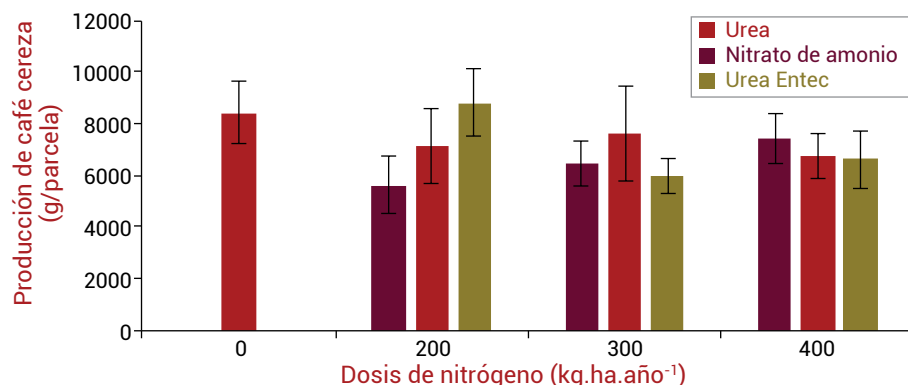
del año 2016 y enero de 2017) no se afectó por los tratamientos (Figura 116). Este resultado indica que las plantas cuyas producciones se afectaron en el ciclo de plantilla por una fertilización nitrogenada deficiente, pueden recuperarse y tener rendimientos similares a las plantas fertilizadas con N de manera adecuada, siempre y cuando reciban una nutrición apropiada luego del zoqueo.

#### **Alternativa biotecnológica para mejorar el suministro de fósforo en el cultivo del café.**

Con el objetivo de generar alternativas de tipo biotecnológico conducentes a mejorar la eficiencia en la fertilización con fósforo (P), se desarrollaron cinco experimentos. Para esta vigencia, se presentarán los resultados de evaluación del papel de las micorrizas y de



**Figura 115.** Contenidos de calcio-Ca, magnesio-Mg y aluminio-AL intercambiables en función del pH.



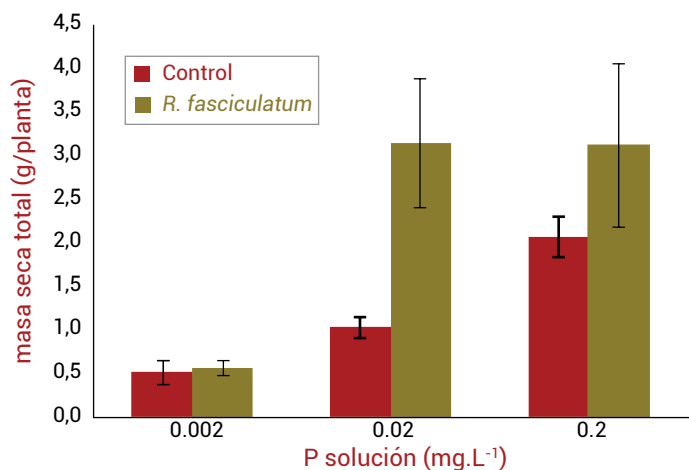
**Figura 116.** Efecto de fuentes y dosis nitrógeno, aplicado en el ciclo de plantilla, en la producción de café luego de la zoca.

los hongos solubilizadores de fosfatos en la promoción del crecimiento de almácigos de café:

- Evaluación de micorrizas.** Tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de *Rizoglopus fasciculatum* a diferentes niveles de P en el suelo. El inóculo se aplicó a razón de 50 g por bolsa al momento del llenado de las mismas. Se presentó la colonización de *R. fasciculatum* en las plantas tratadas con el inóculo, independientemente del nivel de P. Hubo interacción entre el nivel de P y la inoculación, presentándose una mayor masa seca total en las plantas inoculadas a un nivel de 0,02 mg.kg<sup>-1</sup> de P (Figura 117). Los resultados indican una respuesta positiva a la inoculación con *R. fasciculatum*, dependiendo del nivel de P que tenga el suelo. De acuerdo con los modelos calculados en los primeros experimentos, un nivel entre 0,2 y 0,002 mg.kg<sup>-1</sup> del elemento representa para diferentes unidades de suelos del país, valores inferiores a 20 mg.kg<sup>-1</sup> por el método Bray II.
- Efecto de hongos solubilizadores de fosfatos (HSP).** Inicialmente se aislaron cuatro HSP de las unidades de suelos Chinchiná (CH), Timbío (TI) y Quindío (QU). Posteriormente, se evaluó el efecto de éstos en combinación con diferentes niveles de P en el suelo, en el crecimiento de café, variedad Tabi®, en la etapa de almácigo. En las plantas que crecieron en la unidad CH sólo hubo respuesta al P, en tanto que para TI, hubo interacción P x HSP; indicando que a un nivel de P (Bray II) entre 4 y 10 mg.kg<sup>-1</sup>, la inoculación con las cepas *Phlebia subserialis* -CH4, *Penicillium jantinelum* -CH20 ó *Penicillium sp.*-Q57, pueden incrementar el crecimiento del café (Figura 118). Con base en lo anterior se calculó el nivel de suficiencia de P, el cual corresponde a 10 y 13 mg.kg<sup>-1</sup> según el método Bray II (Figura 119).

### Respuesta del café a la fertilización con micronutrientes.

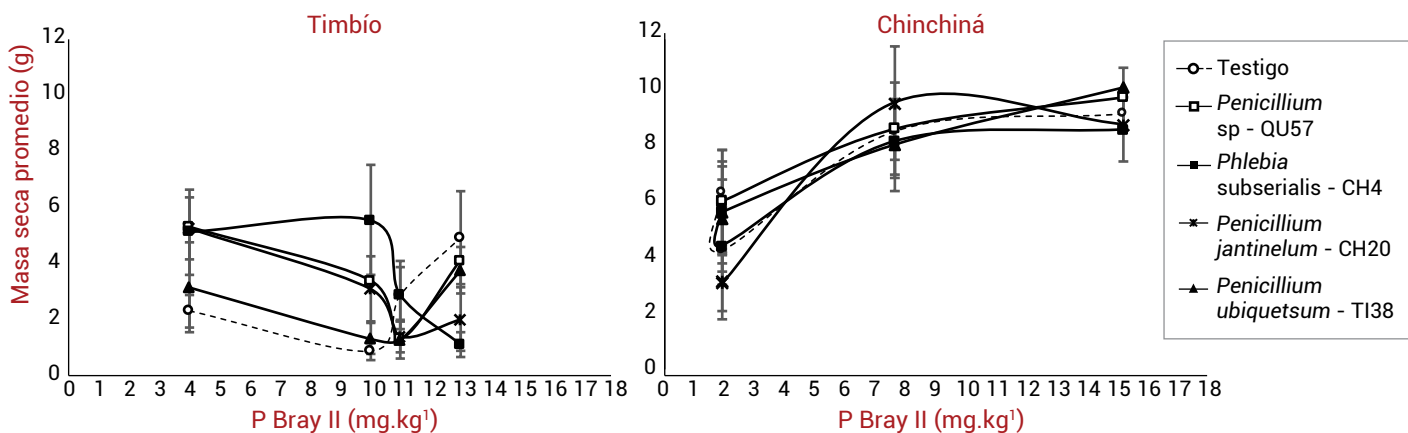
Mediante la realización de esta investigación se busca determinar la respuesta de café, en producción y calidad, al suministro de micronutrientes. Para ello se evalúa, bajo el diseño de bloques completos al azar, el efecto de siete tratamientos



**Figura 117.** Masa seca total de plantas de café en la etapa de almácigo en respuesta a la inoculación con *R. fasciculatum* y niveles de fósforo en la solución del suelo. Barras verticales representan intervalos de confianza ( $P > 0,005$ ).

en la granja Jorge Villamil (Gigante, Huila) y las Estaciones Experimentales El Tambo (El Tambo, Cauca) y El Rosario (Venecia, Antioquia); éstos, consisten en las siguientes dosis de micronutrientes, boro y zinc:

1. Testigo sin micronutrientes
2. 150 kg.ha-año<sup>-1</sup> de micronutrientes
3. 200 kg.ha-año<sup>-1</sup> de micronutrientes
4. 250 kg.ha-año<sup>-1</sup> de micronutrientes
5. 300 kg.ha-año<sup>-1</sup> de micronutrientes
6. 3 kg.ha-año<sup>-1</sup> de boro, aplicado a través de una fuente soluble
7. 3 kg.ha-año<sup>-1</sup> de zinc, aplicado como sulfato o quelato de zinc



**Figura 118.** Crecimiento de los almácigos de café Variedad Tabi® en respuesta al suministro de P y HSP.

En la Estación Experimental El Tambo y la granja Jorge Villamil, la aplicación de los tratamientos inició en septiembre de 2014 y finalizó con la cosecha del tercer año en junio de 2017. En la Estación Experimental El Rosario (Venecia, Antioquia) la investigación comenzó en mayo de 2015 y finaliza en enero de 2018.

- **Efecto de los tratamientos en la producción.**

Para las tres localidades, la producción de café cereza, obtenida durante el segundo semestre de 2016 y el primer semestre de 2017 fue estadísticamente igual en todos los tratamientos (Figura 120). Para el acumulado de la producción, obtenido durante los años 2015 y 2017, tampoco se registró efecto de los tratamientos.

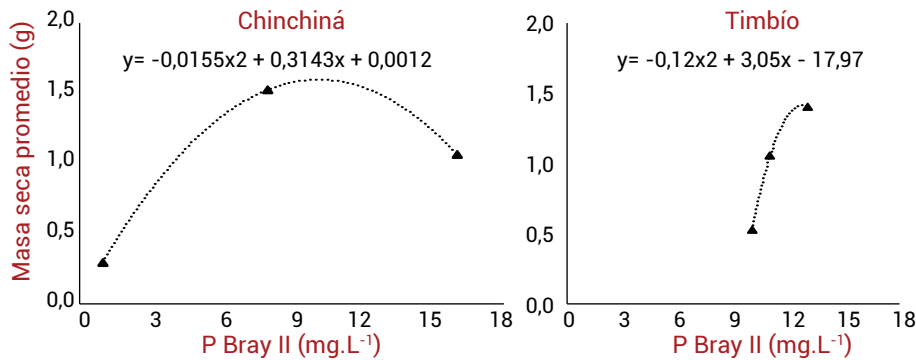
- **Efecto de los tratamientos en la calidad física del fruto.**

La aplicación de los tratamientos no afectó el factor de rendimiento en trilla-FRT (Figura 121); en cuanto a la relación de café cereza-cc frente al café pergamino seco-cps, en la Estación Experimental El Tambo, el tratamiento 1 presentó un promedio más alto que los demás tratamientos (Figura 122); en contraste, el promedio del tratamiento 4 fue menor que los demás tratamientos, a excepción del 3 (prueba Duncan al 5%). En cuanto a la Estación Experimental El Rosario no hubo efectos significativos en esta variable.

- **Efecto de los tratamientos en la calidad en taza.**

Los resultados obtenidos en la Estación El Tambo indican que la calidad de la bebida es excelente, sin que existan diferencias entre los tratamientos.

**Extracción de nutrientes por el café.** Esta investigación tiene como fin determinar la extracción



**Figura 119.** Efecto del P en el crecimiento de plantas de café en la etapa de almácigo de la variedad Tabi®.

de nutrientes por el café. La metodología consiste en recolectar muestras de los órganos de la planta en las diferentes fases del cultivo; posteriormente, se determina su biomasa y la concentración de nutrientes. Para esta vigencia se presentan, los resultados obtenidos con la Variedad Castillo® en Huila, Caldas y Quindío.

**Etapa de almácigo.** Para plantas con seis meses de edad, se midió la extracción de nutrientes en la Estación Experimental Naranjal (Tabla 53). Se registraron los siguientes valores de materia

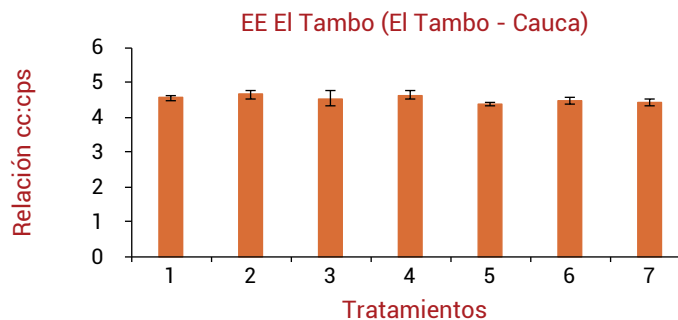
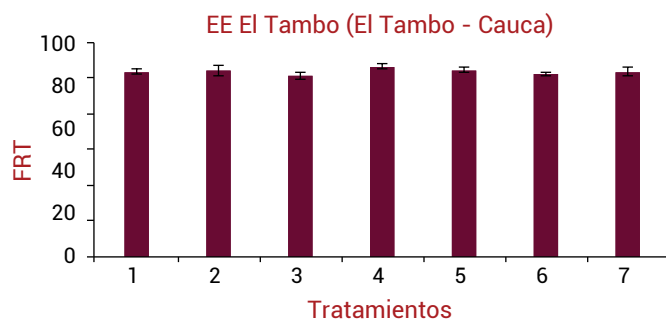
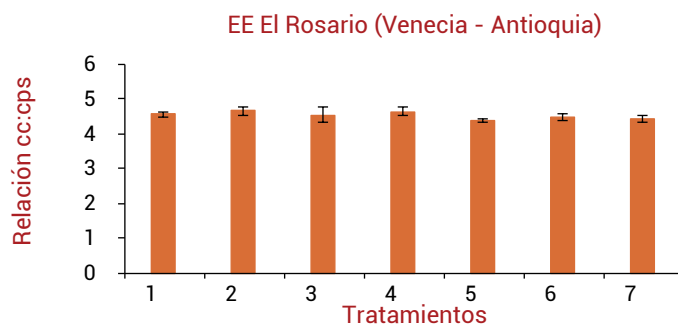
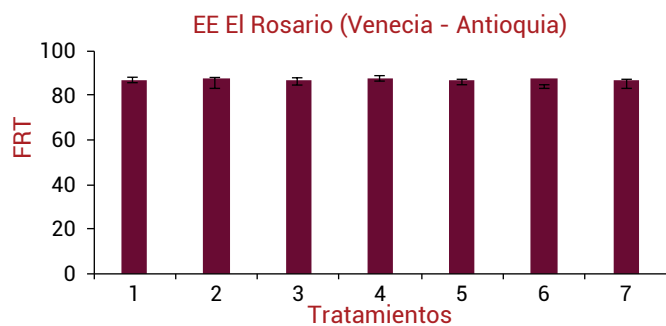
seca en hojas, raíces y tallo de café (g/planta): 3,75; 1,10 y 1,42, respectivamente.

**Etapa de establecimiento.** Se evaluó la extracción y partición de nutrientes en plantas de aproximadamente 12 meses de edad, en la Concentración Jorge Villamil (Tabla 55), y las Estaciones Experimentales Naranjal (Tabla 54) y Paraguaicito (Tabla 56). Así mismo, en la Concentración Jorge Villamil se determinó el efecto de la posición de la hoja en la rama (par de hojas a partir del ápice), en la concentración de macronutrientes.

**Etapa de producción.** En plantas de café de 2,5 años de edad, se valoró la extracción y



**Figura 120.** Producción de café cereza (cc) en respuesta a los tratamientos. Las barras corresponden al error estándar.



**Figura 121.** Factor de rendimiento en trilla (FRT) de café en respuesta a los tratamientos en dos Estaciones Experimentales.

**Figura 122.** Relación de café cereza café: pergamino seco (cc:cps) en respuesta a los tratamientos en dos Estaciones Experimentales.

**Tabla 53.** Extracción y partición de nutrientes en café (mg/planta), según el órgano de la planta, durante la etapa de almácigo en la Estación Experimental Naranjal.

Nutriente	Órgano			Total
	Hojas	Raíces	Tallo	
N	132,45	30,77	23,81	187,02
P	6,75	2,09	2,27	11,11
K	50,65	17,47	20,83	88,96
Ca	19,89	7,25	3,97	31,11
Mg	7,13	3,08	1,70	11,91
Fe	1,26	0,98	0,33	2,56
Mn	0,94	0,29	0,26	1,50
Zn	0,04	0,09	0,03	0,16
Cu	0,05	0,03	0,02	0,10
B	0,11	0,02	0,02	0,15
Total	219,27	62,07	53,23	334,57

partición de nutrientes por planta y hectárea en la Estación Experimental Paraguaicito (Tablas 57 y 58, respectivamente). Igual procedimiento se realizó para plantas de 24 y 36 meses de edad en la Concentración Jorge Villamil (Tablas 15 y 16, respectivamente).

**Remoción de nutrientes.** Para 1.000 kg de café cereza se determinó la remoción de los macro y micronutrientes a través de la cosecha en diferentes localidades de la zona cafetera del país (Tablas 61 y 62, respectivamente).

### Respuesta de café al suministro de fertilizantes y enmiendas durante la etapa de almácigo.

Esta investigación tiene como propósito determinar la respuesta de café durante la etapa de almácigo al suministro de nutrientes y enmiendas en las diferentes regiones cafeteras del país. Durante esta vigencia, en la Estación Experimental Naranjal se evaluó el efecto de 101 tratamientos sobre el crecimiento de las plantas de café, medido en términos de la biomasa seca de la parte aérea. Los tratamientos consistieron en la combinación de dosis y fuentes de abonos orgánicos, dosis y formas de aplicación de fósforo, micorrizas y dosis de caliza dolomítica.

Los primeros diez tratamientos con los promedios más altos de la materia

**Tabla 54.** Extracción y partición de nutrientes en café (mg/planta), a los 12 meses de edad en la Concentración Agrícola Jorge Villamil (Gigante, Huila).

Nutriente	Órgano				Total
	Hojas	Raíces	Ramas	Tallo	
N	2.224,3	411,3	198,0	190,3	3.023,9
P	99,9	23,4	12,5	14,8	150,6
K	1.720,9	360,5	277,8	252,3	2.611,4
Ca	664,2	113,6	66,8	73,9	918,4
Mg	152,3	45,9	21,6	16,4	236,3
Fe	9,0	53,2	2,1	2,5	66,8
Mn	71,7	14,6	14,2	5,6	106,1
Zn	0,7	3,7	0,6	0,4	5,5
Cu	0,8	0,5	0,2	0,3	1,8
B	2,1	0,4	0,2	0,2	2,9
Total	4.945,9	1.027,1	594,0	556,6	7.123,6

**Tabla 55.** Extracción y partición de nutrientes en café (mg/planta), según órgano de la planta, a los 12 meses de edad en la Estación Experimental Naranjal.

Nutriente	Hojas	Raíces	Ramas	Tallo	Total
N	2.220,5	340,0	497,9	3.023,9	3.058,40
P	305,2	92,1	77,5	150,6	474,80
K	556,0	309,3	432,0	2.611,4	1.297,30
Ca	568,5	130,8	224,0	918,4	923,30
Mg	178,8	46,6	39,8	236,3	265,20
Fe	7,1	1,6	7,1	66,8	15,80
Mn	21,2	4,8	3,6	106,1	29,60
Zn	2,1	2,0	0,7	5,5	4,80
Cu	0,8	0,5	0,8	1,8	2,10
B	4,6	0,4	0,7	2,9	5,70
Total	3.864,9	928,2	1.284,1	6.077,1	6.077,20



**Tabla 56.** Extracción y partición de nutrientes en café (mg/planta), según órgano de la planta, a los 12 meses de edad en la Estación Experimental Paraguacito (Buenavista, Quindío).

Nutriente	Hojas	Raíces	Ramas	Total
N	5.750,4	1.643,8	972,1	8.366,30
P	345,7	109,3	152,9	607,90
K	3.627,3	1.506,7	1.412,7	6.546,70
Ca	2.896,1	948,6	579,6	4.424,30
Mg	641,7	354,8	131,8	1.128,30
Fe	26,4	265,8	3,4	295,60
Mn	29,4	8,1	4,8	42,30
Zn	1,9	3,3	1,8	7,00
Cu	1,6	1,2	1,3	4,10
B	8,2	2,4	1,1	11,70
Total	13.328,7	4.844,1	3.261,5	21.434,30

seca de la parte aérea de las plantas, y diferentes al Testigo, fueron en su orden:

Número Tratamiento	Descripción
61	Suelo:residuos de desyerbas en relación 75:25, 2 g de DAP en el mes 1 y 3, micorrizas
60	Suelo:residuos de desyerbas en relación 80:20, 2 g de DAP en el mes 1 y 3 y micorrizas
56	Suelo:residuos de desyerbas en relación 80:20 y 2 g de DAP en el mes 1
57	Suelo:residuos de desyerbas en relación 75:25 y 2 g de DAP en el mes 1
17	Suelo:residuos de desyerbas en relación 75:25
51	Suelo:lombrinaza en relación 85:15 y 2 g de DAP en el mes 1 y 3
52	Suelo:lombrinaza en relación 80:20 y 2 g de DAP en el mes 1 y 3
16	Suelo:residuos de desyerbas en relación 80:20
37	Suelo:pulpa en relación 75:25 y 2 g de DAP en el mes 1 y 3
48	Suelo:lombrinaza en relación 80:20 y 2 g de DAP en el mes 1
1	Testigo absoluto

En la Figura 123 se presentan los valores promedio de la materia seca de la parte aérea de las plantas en respuesta a los tratamientos; así mismo, en la Figura 124 se presenta el efecto del enclamiento en el pH del suelo.

**Evaluación del efecto de herbicidas pre-emergentes y post-emergentes en el control de arvenses.** Las arvenses son altamente competentes para la planta de café en sus primeros meses de crecimiento. Con este estudio busca evaluarse el efecto de herbicidas pre-emergentes en el control de arvenses durante la etapa vegetativa de zoca.

Para esta vigencia el experimento se realizó en la Estación Experimental Paraguacito, en zocas con seis meses de edad de la Variedad Castillo®. Como variable se evaluó el porcentaje de cobertura viva (p.c.) de las arvenses que emergen en la zona de raíces (plato), a partir de la aplicación de cinco herbicidas pre-emergentes; adicionalmente, se cuenta con el control manual y un testigo absoluto (Tabla 63).

Los tratamientos fueron aplicados una vez en cada semestre durante un año. En el primer semestre, con la aplicación de los herbicidas oxyfluorfen, pendimetalina, acetoclor, s-metolaclor se presentó un p.c. similar al testigo, en los 90 días con un 35% y en los 120 días con un 80% (Figura 125). El diuron a los 90 días ocasionó un p.c. del 28% y a los 120 días del 65%. El control manual requirió la limpieza de los platos al tener un 35% de cobertura.

En el segundo semestre, y para la evaluación realizada a los 60 días, en todos los tratamientos se registraron p.c. del 20% al 30% (Figura 126). A los 90 días el s-metaloclor tuvo un comportamiento similar al control manual y al testigo con un 56% de cobertura, los herbicidas oxyfluorfen, acetoclor y pendimetalina produjeron coberturas del 50%, mientras que acetoclor tuvo el p.c. más bajo, con 43%. Cumplidos 120 días, todos los productos evaluados generaron un p.c. igual al testigo con el 75%. En el control manual se dio control a las arvenses cuando se alcanzó un p.c. del 60%, por tal razón muestra un 22% a los 120 días.

Los resultados obtenidos en los dos semestres indican que los productos perdieron residualidad cuando las arvenses en el plato alcanzaron un 20% a 25% de cobertura, por lo tanto, el efecto de los cinco herbicidas pre-emergentes evaluados en promedio fue de 60 días.

**Tabla 57.** Extracción y partición de nutrientes en café (g/planta), según órgano de la planta, a los 2,5 años de edad en la Estación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindío).

Nutriente	Frutos	Hojas	Ramas	Tallo	Total
N	16,08	18,93	4,43	2,97	42,40
P	1,26	1,35	0,77	0,43	3,81
K	17,41	14,63	4,56	2,79	39,39
Ca	2,22	10,41	2,83	1,73	17,19
Mg	1,15	1,84	0,53	0,36	3,88
Fe	0,060	0,088	0,015	0,049	0,21
Mn	0,047	0,217	0,027	0,014	0,30
Zn	0,005	0,007	0,007	0,002	0,02
Cu	0,008	0,005	0,008	0,005	0,03
B	0,015	0,043	0,005	0,004	0,07
Total	38,25	47,52	13,18	8,35	107,30

**Tabla 58.** Extracción y partición de nutrientes en café por hectárea (kg), según órgano de la planta, a los 2,5 años de edad en la Estación Experimental Paraguaicito (Buenavista, Quindío). Estimación según la densidad de la plantación (7.143 plantas/ha).

Nutriente	Frutos	Hojas	Ramas	Tallo	Total
N	114,83	135,23	31,63	21,20	302,89
P	9,02	9,64	5,50	3,06	27,22
K	124,36	104,49	32,59	19,91	281,36
Ca	15,84	74,35	20,21	12,38	122,78
Mg	8,23	13,13	3,78	2,56	27,70
Fe	0,43	0,63	0,11	0,35	1,51
Mn	0,34	1,55	0,19	0,10	2,18
Zn	0,04	0,05	0,05	0,02	0,15
Cu	0,06	0,04	0,06	0,04	0,19
B	0,11	0,31	0,04	0,03	0,48
Total	273,25	339,41	94,16	59,64	766,46

### Evaluación de equipos portátiles para la aplicación de fertilizantes granulados en el cultivo de café.

En la Estación Experimental Naranjal se evaluó el funcionamiento de cuatro métodos para aplicar fertilizante granulado: Bastón abonador, abonadora de espalda Guarany, abonadora de espalda Royal Cándor y el método tradicional al voleo. Las evaluaciones fueron

realizadas durante el mes de agosto de 2017, en 12 lotes que se encontraban en la etapa vegetativa de zoca y producción (Tabla 64).

Tanto en la etapa de producción como levante (zoca) los métodos del bastón y al voleo presentaron una mayor exactitud en las dosis aplicadas con un recipiente que se llenaba con la cantidad de fertilizante requerida (Figura 127). En la etapa de producción los dos métodos demostraron aplicar el 100% de la dosis. Con el empleo del bastón durante la zoca se logró disponer en promedio un 10% más de fertilizante en su dosis que al voleo, el cual aplicó el 100% (Figura 128).

Los equipos Guarany y Royal son equipos de espalda que liberan fertilizante con un dosificador en la lanza de la máquina. Estos equipos, en las etapas de producción y zoca, aplicaron de un 15% a 25% menos de fertilizante frente a los métodos que utilizan un recipiente calculador de dosis. Con el equipo Royal Cándor, en las zocas se aplicó un 87% de la dosis, a diferencia de los lotes en producción donde tan solo mostró un 75% (Figura 128).

En los cuatro métodos se fertilizó un menor número de plantas por hora en la etapa de producción, posiblemente debido a que las ramas en la plantación restringieron la movilidad de los operarios. Al voleo fue el método más eficiente al fertilizar en promedio 725 plantas por hora (Figura 129). Con el bastón se aplicaron 576 plantas/h, y con los equipos Guarany y Royal Cándor en promedio 600.

El bastón, al poder hacer la aplicación sin tener que inclinarse, realizó en promedio

**Tabla 59.** Extracción y partición de nutrientes en café (g/planta), según edad y órgano de la planta, en la Concentración Jorge Villamil (Gigante, Huila).

Elemento	Frutos	Hojas	Ramas	Tallo	Ramas secundarias	Total
<b>24 meses</b>						
N	23,33	12,42	3,54	2,06	1,38	42,73
P	1,53	0,82	0,51	0,31	0,11	3,27
K	24,73	12,91	4,62	2,21	1,58	46,05
Ca	2,54	4,58	1,68	1,09	0,46	10,35
Mg	1,78	0,78	0,33	0,19	0,09	3,17
Fe	0,67	0,34	0,16	0,25	0,05	1,48
Mn	1,37	3,76	0,73	0,42	0,40	6,68
Zn	0,08	0,04	0,11	0,04	0,01	0,27
Cu	0,14	0,05	0,06	0,04	0,01	0,29
B	0,12	0,22	0,05	0,03	0,02	0,44
<b>36 meses</b>						
N	21,27	8,61	5,33	4,07	10,19	49,49
P	1,40	0,65	0,84	0,58	0,93	4,39
K	22,55	7,93	4,56	2,79	9,89	47,72
Ca	2,32	2,75	2,51	2,46	3,48	13,52
Mg	1,62	0,63	0,46	0,51	0,91	4,14
Fe	0,61	0,24	0,35	0,53	0,61	2,34
Mn	1,25	2,72	1,55	0,72	0,65	6,89
Zn	0,07	0,03	0,08	0,04	0,03	0,24
Cu	0,13	0,04	0,07	0,07	0,02	0,33
B	0,11	0,16	0,05	0,05	0,04	0,41

1.282 aplicaciones por hora; sin embargo, con el voleo, al tener que agacharse, se aplicaron 1.156 plantas (Figura 130). Con Guarany se aplicaron en promedio 1.170, mientras que con el equipo Royal Cóndor se aplicaron 1.000.

**Identificar el riesgo ambiental por movimientos en masa en la zona cafetera Colombiana.** Esta investigación tiene como objetivo contribuir a la comprensión de la susceptibilidad de los suelos a los deslizamientos. Este estudio se realiza como parte del proyecto Gestión Inteligente del

Agua en la cuenca hidrográfica La Mica (Pácora, Caldas) con un área de 12,6 km<sup>2</sup>.

Durante este período se realizaron 21 calicatas mediante un muestreo aleatorio, en cada calicata, en el horizonte A y en un monolito de 30 cm x 30 cm x 30 cm, ubicado sobre el potencial plano de deslizamiento, se analizaron variables químicas, físicas y mecánicas. En cada monolito de suelo se determinó la resistencia al corte del suelo mediante el método de corte directo consolidado y drenado bajo cargas normales de 19 kPa hasta 111 kPa a una

**Tabla 60.** Extracción y partición de nutrientes en café por hectárea (kg), según edad y órgano de la planta, en la Concentración Jorge Villamil (Gigante, Huila). Estimación según la densidad de la plantación (6.700 plantas/ha).

Elemento	Frutos	Hojas	Ramas	Tallo	Ramas secundarias	Total
<b>24 meses</b>						
N	156,33	83,18	23,71	13,82	9,23	286,27
P	10,26	5,47	3,40	2,05	0,72	21,91
K	165,72	86,52	30,97	14,79	10,56	308,56
Ca	17,04	30,71	11,24	7,28	3,05	69,32
Mg	11,91	5,20	2,20	1,30	0,61	21,22
Fe	4,51	2,31	1,06	1,70	0,35	9,92
Mn	9,20	25,20	4,90	2,79	2,69	44,78
Zn	0,54	0,24	0,73	0,24	0,06	1,81
Cu	0,95	0,31	0,37	0,25	0,05	1,93
B	0,81	1,50	0,32	0,23	0,12	2,98
<b>36 meses</b>						
N	142,52	57,71	35,74	27,30	68,28	331,56
P	9,35	4,35	5,65	3,85	6,23	29,44
K	151,08	53,11	30,57	18,70	66,24	319,71
Ca	15,53	18,42	16,82	16,48	23,34	90,59
Mg	10,85	4,23	3,11	3,45	6,07	27,71
Fe	4,11	1,63	2,32	3,55	4,07	15,69
Mn	8,39	18,24	10,41	4,80	4,33	46,16
Zn	0,49	0,18	0,53	0,26	0,17	1,64
Cu	0,86	0,26	0,49	0,48	0,14	2,23
B	0,73	1,05	0,35	0,34	0,28	2,75

velocidad de corte de  $0,08 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ; de esta prueba se derivaron los parámetros cohesión efectiva y ángulo de fricción interna del suelo.

El complejo Chinchiná – Pácora, derivado de cenizas volcánicas sobre rocas metamórficas (CH-PA II 1bc), presentó los valores más altos de cohesión efectiva ( $19,9 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ), profundidad de falla máxima (6 m), profundidad efectiva de raíces de 1,5 m, así como menor ángulo de fricción interna ( $0,60 \text{ rad}$ ) y menor conductividad hidráulica en la zona del potencial plano de falla ( $0,0001 \text{ cm} \cdot \text{h}^{-1}$ ) (Tablas 65 y 66).

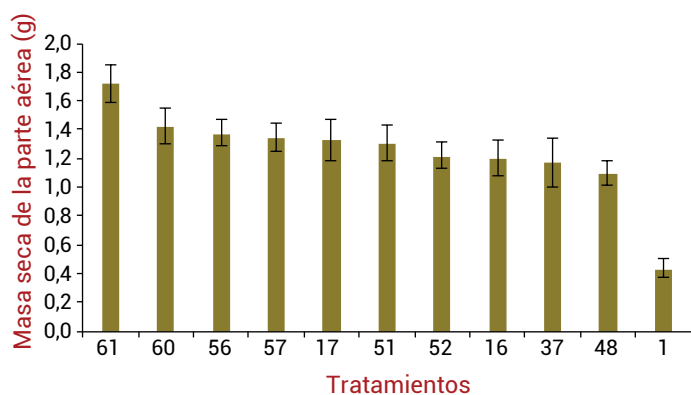
La asociación con menor profundidad del perfil debido a las condiciones fisiográficas, presentó el mayor valor promedio de ángulo de fricción interna ( $0,67 \text{ rad}$ ) con una cohesión promedio de  $17 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ . La Asociación Tablazo – Chuscal se caracterizó por presentar iguales valores de cohesión efectiva que la Asociación Chinchiná – Pácora CH-PA-II2bc ( $17 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ) y los más altos valores de peso unitario saturado ( $18,1 \text{ kN} \cdot \text{m}^3$ ). Estos valores son un insumo importante para la determinación de la susceptibilidad a los deslizamientos en esta cuenca por medio de modelos con base física y estadística.

**Tabla 61.** Contenido de macronutrientes y cenizas en 1.000 kg de café cereza (kg).

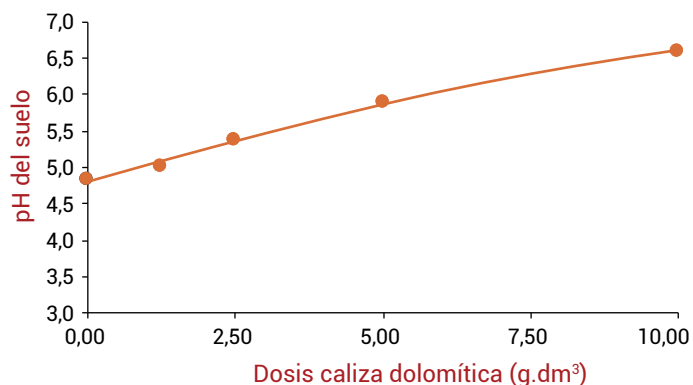
Depto	Municipio	Sitio	N	P	K	Ca	Mg	S	Cenizas
Antioquia	Venecia	EE El Rosario	3,61	0,29	4,81	0,75	0,26	0,18	14,16
Tolima	Libano	EE La Trinidad	3,41	0,38	5,57	0,76	0,29	0,20	14,90
Caldas	Chinchiná	EE Naranjal	4,52	0,35	5,83	0,99	0,35	0,22	15,44
Cesar	Pueblo Bello	EE Pueblo Bello	4,44	0,30	5,17	0,59	0,40	0,22	20,24
Huila	Gigante	CA J. Villamil	5,56	0,37	5,90	0,61	0,42	-	16,67
Huila	Gigante	CA J. Villamil	5,21	0,27	5,99	0,77	0,38	-	18,35
Huila	Gigante	CA J. Villamil	6,51	0,55	6,09	0,37	0,47	-	15,38
Huila	Gigante	CA J. Villamil	5,59	0,33	6,15	0,70	0,43	-	17,88
Quindío	Montenegro	Finca El Agrado	5,97	0,45	6,85	1,79	0,44	-	19,06
Cauca	El Tambo	EE El Tambo	4,73	0,41	4,70	0,86	0,35	-	16,51
Quindío	Buenavista	EE Paraguaicito	4,81	0,38	7,09	1,04	0,38	0,27	34,70
Santander	Floridablanca	EE Santander	3,82	0,34	7,00	0,86	0,31	0,25	18,57
Risaralda	Pereira	EE La Catalina	4,63	0,46	5,91	0,68	0,37	-	16,12
Promedio			4,83	0,37	5,93	0,83	0,37	0,23	18,30

**Tabla 62.** Contenido de micronutrientes y cenizas en 1.000 kg de café cereza (g).

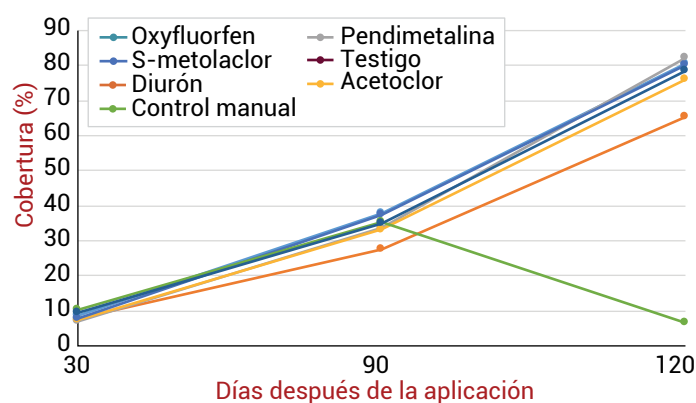
Depto	Municipio	Sitio	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Antioquia	Venecia	EE El Rosario	4,68	12,74	1,04	2,34	3,64
Tolima	Libano	EE La Trinidad	6,12	11,96	1,46	1,75	5,25
Caldas	Chinchiná	EE Naranjal	6,73	7,37	1,60	3,52	5,77
Cesar	Pueblo Bello	EE Pueblo Bello	4,31	18,84	1,61	2,96	1,88
Huila	Gigante	CA J. Villamil	16,04	32,74	1,90	3,37	2,87
Huila	Gigante	CA J. Villamil	7,94	17,06	1,57	2,89	2,23
Huila	Gigante	CA J. Villamil	26,46	87,26	2,74	4,22	4,46
Huila	Gigante	CA J. Villamil	13,61	19,56	1,77	3,31	2,58
Quindío	Montenegro	Finca El Agrado	41,70	11,58	2,22	4,72	5,13
Cauca	El Tambo	EE El Tambo	14,47	69,79	1,74	4,29	4,03
Quindío	Buenavista	EE Paraguaicito	8,74	13,20	1,40	1,40	4,95
Santander	Floridablanca	EE Santander	9,97	8,16	1,86	2,48	2,33
Risaralda	Pereira	EE La Catalina	14,41	8,70	1,83	3,79	4,26
Promedio			13,48	24,53	1,75	3,16	3,80



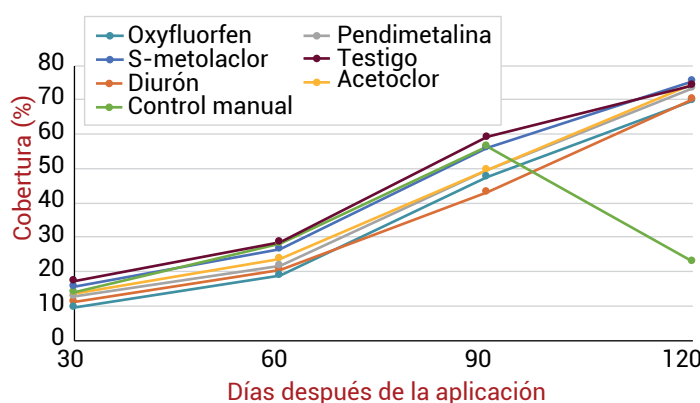
**Figura 123.** Materia seca de la parte aérea de las plantas de café en la etapa de almácigo en respuesta a los tratamientos.



**Figura 124.** Cambio en el pH del suelo en respuesta a dosis de caliza dolomítica en suelos de la Estación Experimental Naranjal (Unidad cartográfica Chinchiná).



**Figura 125.** Porcentajes de cobertura de arvenses en el plato de café en respuesta a los tratamientos de control en el primer semestre del año.



**Figura 126.** Porcentajes de cobertura de arvenses en el plato de café en respuesta a tratamientos de control en el segundo semestre del año.

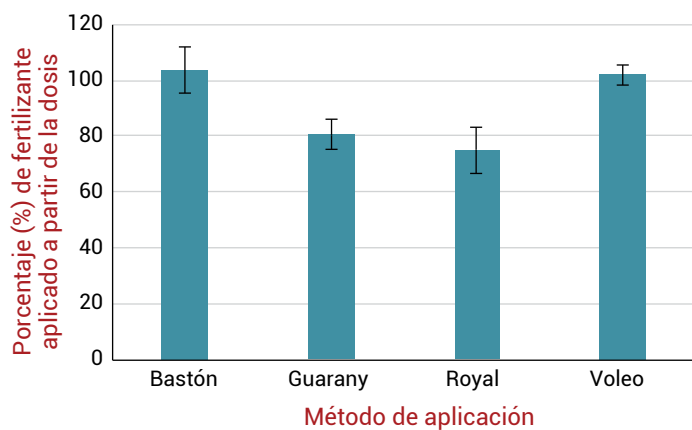
**Tabla 63.** Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Producto comercial	Nombre técnico	Dosis aplicada por plato	Dosis aplicada por hectárea
1	Goal 2 ec	oxyfluorfen	0,115 cm <sup>3</sup>	3,0 L.ha <sup>-1</sup>
2	Karmex wg	diurón	0,076 g	2,0 kg.ha <sup>-1</sup>
3	Prowl 400 ec	pendimetalina	0,077 cm <sup>3</sup>	2 L.ha <sup>-1</sup>
4	Harness ec	acetoclor	0,096 cm <sup>3</sup>	2,5 L.ha <sup>-1</sup>
5	Dual gold 960 ec	s-metolaclor	0,038 cm <sup>3</sup>	1,0 L.ha <sup>-1</sup>
6	Control manual	-	-	-
7	Testigo absoluto (sin control)	-	-	-

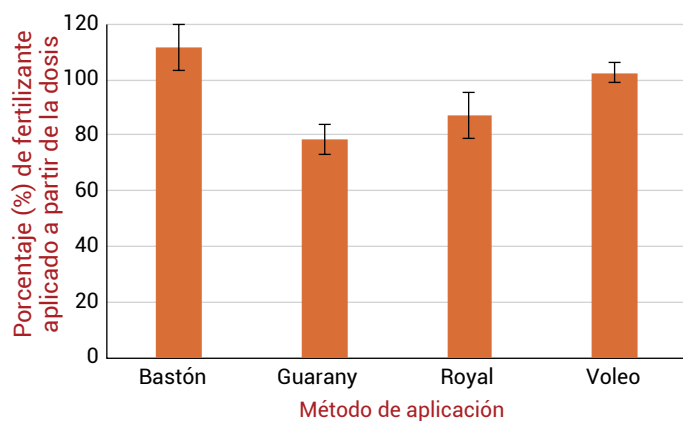
**Tabla 64.** Características de los lotes donde se realizaron las aplicaciones con fertilizante granulado a partir de los cuatro métodos de fertilización.

Lote	Estado vegetativo	Densidad	Número de sitios	Edad de plantación	Pendiente (%)
Lote 2	Producción	8.000	8.311	30 meses	60
Reposo 1	Producción	6.666	1.524	28 meses	5-10
Reposo 2	Producción	6.666	1.524	28 meses	5-10
Matilde	Producción	6.666	1.575	28 meses	5-10
La cancha	Producción	6.666	1.524	28 meses	5-10
Macadamia	Zoca	4.444	7.544	6 meses	10-30
Triángulo	Zoca	*5.000-9.523-10.000	2.455	6 meses	10-30
Castillo Floresta	Zoca	4.444	1.010	6 meses	10-15
La Zanja	Zoca	5.000	1.212	6 meses	10-15
Lote 8	Zoca	5.000	2.082	6 meses	5-10
Polideportivo	Zoca	5.000	2.520	6 meses	5-10
La Cruceta	Levante	6.666	6.296	14 meses	5-10

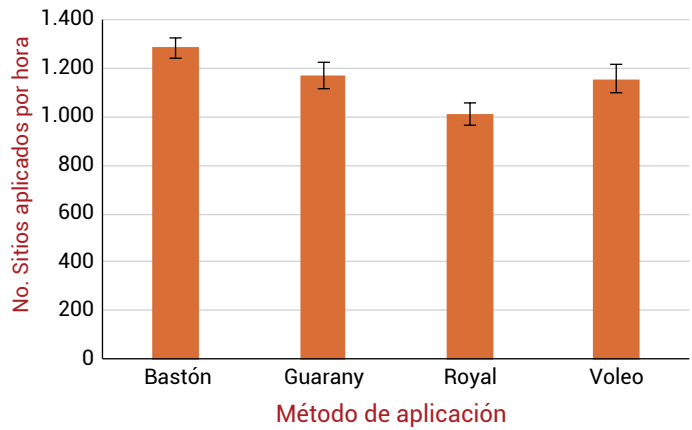
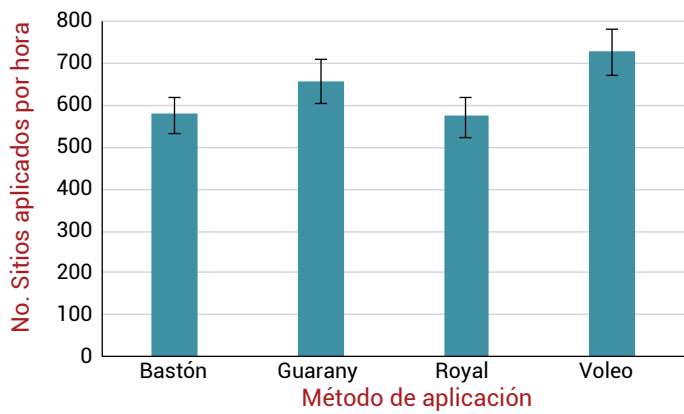
\* En el lote triángulo las plantas fueron sembradas a tres densidades de siembra diferentes.



**Figura 127.** Porcentaje de fertilizante aplicado a partir de las dosis en plantas de café en la etapa de producción.



**Figura 128.** Porcentaje de fertilizante aplicado a partir de las dosis en plantas de café en la etapa vegetativa de zoca.



**Figura 129.** Número de sitios aplicados por hora con cada método de fertilización en la etapa de producción.

**Figura 130.** Número de sitios aplicados por hora con cada método de fertilización en la etapa vegetativa de zoca.

**Tabla 65.** Parámetros del suelo necesarios para aplicar el modelo de susceptibilidad a deslizamientos, resultados promedio obtenidos a partir 21 de muestreos y análisis en la cuenca La Mica.

Unidad de suelo	Código_FNC	c' (kN.m <sup>2</sup> )	desv.	φ (rad)	desv.	Γ (sat kN.m <sup>3</sup> )	desv.
Chinchiná - Pácora	CH-PA II 1	20,1	8,7	0,60	0,10	14,7	2,7
Chinchiná - Pácora	CH-PA II 2	17,0	11,5	0,67	0,08	15,4	2,3
Tablazo, Chuscal, Maiba, Pácora	TB-CHU-MA-PA I	17,8	7,6	0,63	0,12	15,5	2,6
Tablazo, Chuscal	TB-CHU I3	17,0	8,1	0,60	0,07	18,1	1,3

c': Cohesión efectiva, φ: ángulo de fricción interna, Γ sat: Peso unitario saturado del monolito.

**Tabla 66.** Parámetros del suelo necesarios para aplicar el modelo de susceptibilidad a deslizamientos, resultados promedio obtenidos a partir 21 de muestreos y análisis en la cuenca La Mica.

Unidad de suelo	Ks (cm.h <sup>-1</sup> )	desv.	Z falla min. (m)	Z falla máx. (m)	kp min. (cm.h <sup>-1</sup> )	Z efectivo máx (m)	θ sat	desv.	θ 0,33 (Mpa)	desv.	θ disp	desv.
CH-PA II 1	11,9	11,8	1,0	6	0,0001	1,5	0,65	4,2	0,43	12,7	0,14	6,1
CH-PA II 2	8,1	6,7	0,4	1,2	0,07	0,9	0,61	5,6	0,41	10,9	0,14	3,7
TB-CHU-MA-PA	17,0	6,2	1,5	2	1,67	0,5	0,62	0,3	0,45	2,5	0,09	0,9
TB-CHU I3	15,5	7,0	0,3	2,3	0,057	0,4	0,57	4,3	0,35	10,6	0,11	1,5

ks: Conductividad hidráulica saturada del horizonte A, Z falla min.: profundidad de falla mínima; Z falla máx. profundidad de falla máxima, kp: conductividad hidráulica saturada mínima del plano de falla, Z efectivo máx. profundidad efectiva de raíces máxima, θ sat: Humedad en el punto de saturación del horizonte A; θ 0,33 Mpa: Humedad a capacidad de campo; θ disp.: Humedad disponible en el horizonte A.







# Disciplinas de apoyo a la investigación



# Disciplinas de apoyo a la investigación

## Divulgación y Transferencia



Durante la vigencia de 2017 en la Disciplina de Divulgación y Transferencia, se realizó la edición, diagramación y publicación de los Avances Técnicos 469 al 477, la Revista Cenicafé Vol. 67 No. 2 y Vol. 68 No. 1, Anuario Meteorológico, el libro Informe Anual de Actividades de Cenicafé del 2016, así como el libro "Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino".

Se publicaron en la página web Agroclima.Cenicafe.org los Boletines Agrometeorológicos Cafeteros No.13 al 25, con la información climática y las recomendaciones técnicas para el cultivo del café, de acuerdo con cada zona cafetera del país.

Durante el año 2017 como apoyo a la Gerencia Técnica, los investigadores de Cenicafé

recorrieron los departamentos de Cauca, Nariño, Magdalena, Norte de Santander y Cesar, en los cuales a través del Programa "Más Agronomía, Más Productividad" capacitaron a cerca de 900 caficultores en variedades de café mejoradas para Colombia, densidades, edades y renovación de cafetales, acidez del suelo para el cultivo de café, sanidad vegetal, sistemas de café con sombrío y manejo de arvenses.

Dentro de las actividades más importantes desarrolladas por los Investigadores de Cenicafé, en el marco del Sistema de Gestión Integral, ligado al Acuerdo de Nivel de Servicio: Construir y Utilizar Espacios de Interacción, se realizaron 57 actividades de capacitación de los Extensionistas de todo el país, a las cuales asistieron 3.658 colaboradores del Servicio de

Extensión, desde octubre de 2016 hasta septiembre de 2017.

De igual manera, en Cenicafé se realizó el Encuentro de Coordinadores de Extensión durante los días 19 y 20 de abril, en los cuales se realizó la capacitación y profundización en la agronomía de la caficultura y programas de la Gerencia Técnica, para 220 profesionales del Servicio de Extensión.

Entre el 1 de octubre de 2016 y el 30 de septiembre de 2017 se recibieron 126 visitas a las instalaciones de Cenicafé, donde se atendieron 5.186 visitantes, entre Caficultores, funcionarios de la Federación Nacional de Cafeteros, Entidades Cooperantes y Universidades, entre otros.

Durante el año 2017 se realizó el despacho de los

Avances Técnicos 461, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 474, la Revista Cenicafé Vol.67 No.2, el Boletín Técnico No. 41, la Brocarta No. 49, el Informe Anual de Cenicafé del 2016, el libro Más Agronomía Más Productividad, así como los volantes de pasillas, períodos de carencia

y defecto fenol, y los afiches de fenol y períodos de carencia, a los Comités de Cafeteros y colaboradores de Oficina Central. En total, se despacharon cerca de 290.870 ejemplares de las publicaciones anteriormente mencionadas.

Se ha continuado con la Divulgación de las publicaciones de Cenicafé a través del Boletín electrónico "Tome Nota". Se hicieron 14 despachos con 47 publicaciones en total y fueron entregados 275.796 correos con las publicaciones de Cenicafé, cada despacho en promedio se entrega a 19.714 usuarios.

---

## Tecnología de Información y Comunicaciones

---



### Nueva versión de la Plataforma Agroclimática Cafetera

<http://agroclima.cenicafe.org>.

El 28 de noviembre de 2016 se hizo el lanzamiento oficial de la nueva versión de la Plataforma Agroclimática Cafetera (Figura 131). La plataforma se dispuso en Internet con un nuevo diseño que permite navegar fácilmente entre las diferentes aplicaciones. Cuenta con figuras dinámicas que permiten al usuario interactuar con sus datos y percibir la información desde diversos puntos de vista. De igual forma, los usuarios pueden realizar sugerencias, interponer quejas o solicitar

inquietudes que puedan tener con respecto al portal. Estas retroalimentaciones se hacen a través del link Contáctenos.

### Aplicación: Solicitud de Datos Climáticos

<http://agroclima.cenicafe.org/web/guest/solicitud-de-datos>

Se desarrolló e implementó una aplicación para la solicitud de datos climáticos, por parte de personal interno y externo a la Federación Nacional de Cafeteros. La aplicación permite que investigadores, Líderes Departamentales del Servicio de Extensión y la Gerencia Técnica, puedan obtener información histórica diaria al instante, de todas las estaciones climáticas convencionales y automáticas.

Para usuarios externos como empresas y universidades, los usuarios deben diligenciar el formulario de solicitud. Cada solicitud externa es revisada por la Dirección del Centro para su aprobación, según sea el caso.

El sistema conserva la trazabilidad de cada proceso por el que pasa cada solicitud, con el fin de mantener el control y seguimiento de la información climática (Figura 132).

### Aplicación: Registros Históricos del clima

<http://agroclima.cenicafe.org/web/guest/registros-historicos>

Se desarrolló el aplicativo Registros históricos, donde se encuentra la información de las variables climáticas: lluvia,

temperaturas y humedad relativa, entre otras. Los datos se presentan consolidados a nivel mensual y anual (Figura 133).

Para acceder a esta información, es un requisito que el usuario esté registrado en la plataforma agroclimática cafetera.

## Aplicación Móvil: Cenicafé

### Plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales

Se realizó la primera aplicación (App) para dispositivos móviles (Plataformas IOS y Android) en la cual se encuentra la información acerca de las principales plagas y enfermedades del café en Colombia, así como las deficiencias nutricionales que puedan registrarse en los cafetales (Figura 134).



Figura 131. Nueva plataforma agroclimática cafetera



Figura 132. Solicitud de datos climáticos.



Figura 133. Registros históricos.



Figura 134. Primera aplicación para móviles.

## Unidad de Gestión de Proyectos



**Portafolio de investigaciones de Cenicafé.** Se elaboró y definió una metodología para la estructuración del portafolio de investigaciones de Cenicafé.

En la propuesta metodológica se destacan los siguientes aspectos:

- Promover la participación de los colaboradores del Centro (área administrativa y de investigación), Gerencia Técnica y Servicio de Extensión a través de Líderes y Coordinadores

Seccionales. Es un ejercicio multidisciplinario e interdisciplinario.

- Uso de la plataforma del Sistema de Gestión y Administración de Proyectos de Investigación – SIGA, para asegurar la trazabilidad.
- La metodología se incluirá en el subproceso Planear Investigación Científica y Tecnológica, bajo los lineamientos del Sistema de Gestión Integral-SGI de

la FNC, en el componente de calidad (ISO-9001).

- Los resultados tendrán soporte estadístico y serán utilizados para la toma de decisiones, respecto a los ajustes del Portafolio de Investigación para cada vigencia.
- El portafolio contribuye al desarrollo de la estrategia, en las dimensiones económica, social, ambiental o institucional.

Dimensión económica		
Mayor precio	Reducción de costos	Mayor productividad
Mejorar la calidad física y sensorial, reducción del porcentaje de defectos.	Desarrollar tecnologías y recomendaciones para aumentar la eficiencia de los factores de producción (establecimiento y manejo del cultivo, recolección, beneficio húmedo y seco).	Aumentar la producción unidad de área.
Generar valor agregado a través de: Cafés especiales y diferenciados (perfilados, modificación de procesos de beneficio, entre otros).	Aumentar la eficiencia de la mano de obra (establecimiento y manejo del cultivo, recolección, beneficio húmedo y seco).	Aumentar la resiliencia de la caficultura a la variabilidad climática.
Facilitar el acceso a programas de certificación y verificación con enfoque de sostenibilidad.	Fortalecer las capacidades y competencias de los cafeteros y sus familias.	Desarrollar variedades mejoradas.
Posicionar y diferenciar el origen Café de Colombia.	Mayor aprovechamiento de la infraestructura de beneficio.	Realizar ajustes al sistema de producción (densidades de siembra, SAF).
Generar ingresos complementarios por aprovechamiento de subproductos, nuevos usos del café.	Utilizar de manera eficiente los recursos naturales.	Minimizar la afectación por plagas y enfermedades.
	Generar economías de escala en procesos asociados al sistema de producción de café.	Mantener un adecuado suministro de nutrientes, de acuerdo a la etapa del cultivo.
		Aumentar la capacidad de adaptación de la caficultura a la variabilidad y el cambio climático.

## **Evaluación de la implementación de corredores de conservación y del sistema integrado de gestión en buenas prácticas agrícolas en el proyecto KfW.**

Los corredores de conservación del programa KfW son una estrategia de planeación regional que articula la conservación de la biodiversidad con el desarrollo socioeconómico, tomando como ámbito de gestión la microcuenca. Este modelo integra los conceptos de corredor de conservación y sistema integrado de gestión en buenas prácticas agrícolas (BPA), para promover el bienestar del caficultor, a partir de mejorar su entorno natural, social y económico, en siete microcuencas cafeteras de siete departamentos. El modelo que se empezó a desarrollar en 2011, es coordinado por el Programa de Medio Ambiente desde Oficina Central de la FNC, implementado por Extensionistas del proyecto, apoyados en los temas de producción de café por los Comités de Cafeteros, y tiene como encargados del desarrollo, evaluación y documentación del modelo, a personal de Cenicafé, actualmente en la Unidad de Gestión de Proyectos.

En Cenicafé, durante este período, se ha hecho énfasis en la documentación de los aprendizajes obtenidos en cuanto a la reproducción, manejo, contribución a la biodiversidad y percepciones de los beneficiarios de las especies forestales nativas, durante la implementación de herramientas de manejo del paisaje (HMP).

Se han analizado algunos de los indicadores con el fin de hacer mejoras en el análisis e interpretación de los resultados e impactos del

proyecto, y se ha propuesto una metodología para analizar los efectos con respecto a la conectividad del paisaje desde el punto de vista funcional, con una prueba inicial para la microcuenca La Lajita, que arroja un cambio en el índice de 0,05 a 0,10; duplicando su valor con la implementación de HMP en esta microcuenca.

## **Programa Gestión Inteligente del Agua-GIA**

### **Componente social**

Los Grupos Manos al Agua, en el marco del Programa GIA, se han constituido como espacios de fortalecimiento de capacidades y habilidades para generar procesos de desarrollo local, así como mecanismos de gobernanza en torno al agua y a los servicios ecosistémicos a los que tienen acceso. Para el cumplimiento de este objetivo, se realizó una guía que brinda herramientas para el fortalecimiento de los Grupos y Organizaciones sociales, que les permitan obtener mejores resultados en la consecución de sus objetivos y una mayor incidencia en el desarrollo de sus comunidades.

Para la elaboración la guía se utilizaron diversos materiales en temas organizacionales. Los talleres y actividades propuestas están basados en dos elementos: i) Construcción colectiva del conocimiento a partir del diálogo, la retroalimentación y el debate; ii) Los talleres que promueven la secuencia: acción - reflexión - acción.

La premisa bajo la cual se constituye la estrategia de Participación Comunitaria

es el fortalecimiento de capacidades organizacionales y de gestión, que puedan traducirse en la ampliación de espacios de participación, mayores oportunidades de acceso a recursos financieros y administrativos, y mayor interlocución con entidades estatales y entidades locales. El fortalecimiento y afianzamiento de mecanismos de organización comunitaria, permitirá el desarrollo de procesos autónomos de gestión local lo que repercute en un mejor uso de los recursos naturales y mejoramiento de condiciones de vida de la comunidad.

Un elemento importante de esta orientación, lo constituyó el diseño e implementación de proyectos por parte de la comunidad. Los proyectos son un elemento vital para que los grupos puedan ejercer procesos de gestión local, y a su vez, son un mecanismo efectivo de asignación de recursos.

Desde la Unidad de Gestión de Proyectos, conjuntamente con el Equipo del nivel central del Programa GIA, se asesoró en el diseño y formulación de 28 proyectos de iniciativa comunitaria. De igual forma, la matriz bajo la cual se formularon los proyectos permitió el seguimiento y evaluación de los mismos, efectuando acciones correctivas en caso de requerirse.

El acompañamiento y asesoría fue vital en este proceso, y garantizó que:

- Los proyectos formulados por los Grupos Manos al Agua tuvieran objetivos y alcances razonables para los recursos (financieros y humanos) y tiempos disponibles.



- Los proyectos contribuyeran a los objetivos del Programa Manos al Agua, a saber:
  1. El mejoramiento de la calidad del agua.
  2. El mejoramiento de la cantidad del agua.
  3. La disminución del consumo de agua.

El proceso bajo el cual se realizó esta actividad constó de las siguientes subactividades:

- **Diagnóstico de problemas:** se brindaron herramientas para identificar las condiciones negativas o problemática, que percibieron los integrantes de los Grupos Manos al Agua con respecto al agua y al manejo integral de la microcuenca.
- **Diseño y formulación de proyectos:** se brindaron herramientas para el diseño de proyectos. La metodología utilizada fue el Enfoque de Marco Lógico, debido a que facilita el encadenamiento lógico de objetivos, estrategias e indicadores.
- **Identificación de cambios:** con base en la metodología Retorno Social de la Inversión-SROI, se identifican las causas de creación de cambios sociales y ambientales. La metodología permitió: la identificación de aquello que hubiera sucedido en ausencia de los proyectos y la mejor comprensión del impacto que generan este tipo de proyectos.

### Componente de Transferencia y Sostenibilidad

Este componente tiene como objetivo contribuir al mantenimiento de los resultados del Programa una vez finalice la intervención. Adicionalmente, aportar en la construcción de un modelo replicable para la gestión del recurso hídrico.

De ese modo, aspectos relevantes para el componente de transferencia y sostenibilidad se mencionan a continuación:

- Mediante la socialización y validación de las estrategias definidas en los diferentes Comités Departamentales, dentro del alcance del programa GIA, se logró el consenso y la construcción de un documento que recopila las estrategias de transferencia y sostenibilidad validadas.

- También se elaboró la propuesta de sistematización del programa GIA, definiendo entre otros como eje de sistematización la "Determinación de aquellos elementos que deberán replicarse, mejorarse o descartarse, de cada una de las fases del Programa, con el fin de obtener los componentes necesarios que permitan construir un modelo de Gestión Integral del Recurso Hídrico, que pueda ser replicable en diferentes zonas cafeteras del país".
- Desde la Unidad de Gestión de Proyectos se ha venido trabajando en "Identificar en el Programa Gestión Inteligente del Agua -GIA- aquellos factores que favorecieron y limitaron el logro de sus objetivos, con el fin de tener elementos que permitan construir un modelo de Gestión Integral del Recurso Hídrico -GIRH-", que sea replicable en otras zonas cafeteras del país.
- Para el desarrollo del proceso de sistematización, se implementó una metodología que consta de tres fases: Recopilación, Organización y Participación de todos los actores. En este punto, para contar con el insumo necesario de análisis, se diseñó un cuestionario que proporcionará información clave, que surgió a lo largo del desarrollo del programa. La información fue recopilada para realizar el posterior análisis de las percepciones que cada actor tiene del programa en cada una de sus fases.

De acuerdo a lo anterior, resulta de vital importancia contar con el criterio de todos los actores involucrados en las diferentes fases del programa GIA. Por tal motivo, se desarrollaron talleres que permitieron socializar y comprender lo que es un proceso de sistematización, y la importancia de este primer ejercicio, no solo para Cenicafé, sino también a nivel de la Oficina Central.

Finalmente, de acuerdo a la metodología propuesta la Unidad de Gestión de Proyectos ha definido la estrategia para el análisis de la información, tomando como foco principal la recopilación de las lecciones aprendidas en cada una de las fases del programa, según los logros, dificultades y errores percibidos por los actores.

## **Desarrollo de la Guía Metodológica para la medición de la Huella Hídrica del Café de Colombia.**

Se desarrollará un documento que defina los criterios mínimos para la evaluación de la Huella Hídrica y los elementos necesarios para la implementación de un plan de gestión de la sostenibilidad de la Huella Hídrica, que se fundamente en un proceso de mejoramiento continuo.

Respecto a la Guía se identifican los siguientes beneficios:

- A partir de la evaluación de la Huella Hídrica, contribuir al mejoramiento de la eficiencia de los procesos asociados al sistema de producción de café. Unificar el lenguaje respecto a los aspectos que se deben tener en cuenta en la medición y gestión de la Huella Hídrica.
- Dar garantía a las partes interesadas sobre la calidad, verificabilidad y reproducibilidad de la información generada en la evaluación.
- Sensibilizar en la importancia de la aplicación de la metodología de evaluación, para que los resultados permitan dar los elementos para la toma de decisiones en el ámbito sectorial, con efecto en el contexto nacional, regional y local.
- Dar soporte para la medición de otros indicadores ambientales, como por ejemplo la Huella Ambiental, que analiza bajo el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida – ACV, los impactos ambientales, generados en el ciclo de vida de un producto.

- Servir de base para la generación de indicadores que evidencien el logro de metas de sostenibilidad de la caficultura, específicamente en la dimensión ambiental del Plan Estratégico de la FNC.
- Promover los procesos de innovación, ya que a partir de los resultados de la evaluación se podrán generar e implementar nuevos conocimientos y tecnologías que aporten en la gestión continuada de la Huella Hídrica.

## **Metodología para la evaluación de la Huella Hídrica en el sistema de producción del café de Colombia.**

Con base en la información generada en el componente de Evaluación de la Huella Hídrica en el campo, se presenta la metodología de cálculo de las diferentes huellas (gris, azul y verde), en el sistema de producción de café, que tiene como alcance todos los procesos del sistema de producción de café (germinador, almácigo, establecimiento, cosecha y poscosecha).

**Evaluación de la sostenibilidad de la huella hídrica en el sistema de producción de café.** De manera general, para el sistema de producción de café se realizará una primera aproximación de la sostenibilidad de la huella hídrica, que consiste en evaluar qué tan “sostenible” es la apropiación del recurso hídrico en el sistema de producción y en el territorio de la microcuenca, con el propósito de informar sobre cuál es la mejor asignación posible del recurso en la cuenca, para las personas, los ecosistemas y las actividades económicas.

## **Aplicación de la metodología de cálculo de la Huella Hídrica en el sistema de producción de café de Colombia.**

Teniendo en cuenta que se tiene dispuesto realizar un piloto de medición de la Huella Hídrica en una de las microcuencas que hacen parte del alcance Programa GIA, se tienen los siguientes objetivos:

- Validar la metodología que se propone en la Guía.
- Suministrar al lector y potenciales usuarios de la Guía un estudio de caso de aplicación de la metodología y su análisis respectivo.
- De acuerdo a los resultados, en caso de ser necesario, proponer ajustes a la metodología.

Algunos beneficios adicionales de documentar el piloto son los siguientes:

- Permitir la comprensión de diferentes aspectos relacionados con la medición de la Huella Hídrica.
- Contribuir a la comprensión de los aspectos principales a tener en cuenta en la medición de la Huella Hídrica.
- Establecer un puente entre la teoría y la práctica, a partir de la implementación de la metodología en condiciones reales.
- Conocer las posibles limitaciones en la aplicación de la metodología de medición.
- Determinar posibles ajustes a la metodología.





# Recursos humanos y financieros



# Recursos humanos y financieros

## Dirección Administrativa y Financiera



### Recursos Cenicafé y Contribución Cafetera

Los recursos que la FNC transfiere a Cenicafé para el desarrollo de los proyectos de Investigación y Experimentación Científica, provienen de la transferencia que realiza el Fondo Nacional del Café (FoNC); las otras dos fuentes de recursos son la generación propia de aprovechamientos y los recursos aportados por los convenios de cofinanciación.

El presupuesto total de Cenicafé para el año 2017 asciende a \$36.401 millones, que corresponden a \$22.004 millones de recursos transferidos por la FNC, \$3.447 millones de ingresos por aprovechamientos y \$10.950 millones por concepto de

convenios de cofinanciación celebrados con entidades externas (Figura 135).

En el año 2017, se proyectaron recursos provenientes de convenios de cofinanciación por \$10.950 millones. La ejecución estimada a diciembre 31, asciende a los \$4.903 millones, dado que algunos de los convenios formulados, no han sido firmados.

### Presupuesto de Cenicafé año 2017 – Recursos Propios.

El presupuesto de recursos propios asciende a \$25.451 millones, incluidos \$2.304 millones que corresponden a la entrega de semilla de variedades mejoradas de café a los Comités Departamentales de Cafeteros, ingresos con los que deben financiarse los gastos de este Programa.

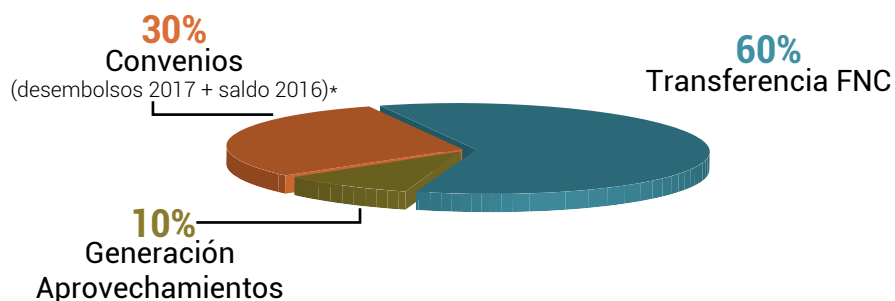


Figura 135. Composición del presupuesto total de Cenicafé 2017.

Los recursos para la nómina fija son los que mayor participación tienen en el presupuesto de Cenicafé (Figura 136).

En total, los recursos asignados para gastos de personal (nómina y *outsourcing*) superan el 60% del presupuesto anual de Cenicafé.

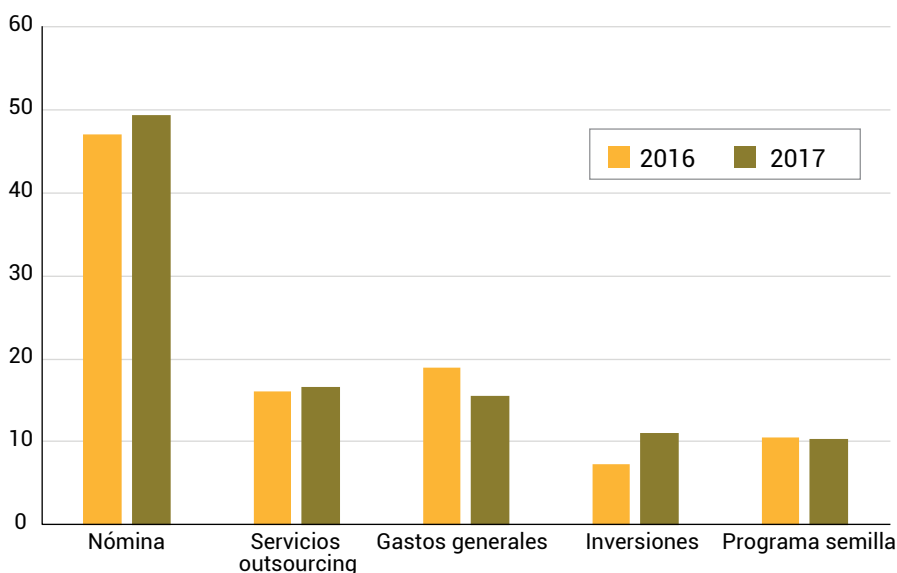
**Convenios de Cofinanciación año 2017.** En 2017, han estado vigentes 21 convenios. En la Tabla 67, se presenta el presupuesto de los convenios de cofinanciación para el año 2017, por entidad aportante.

En el marco del Sistema General de Regalías-SGR, Cenicafé ha gestionado recursos para el desarrollo de investigaciones e implementación tecnológica en zonas de influencia cafetera, con dos proyectos en el marco del SGR, a través de los Departamentos de Huila y Caldas, este último finaliza en diciembre del año 2017.

Actualmente, Cenicafé está brindando el soporte técnico-científico necesario para contribuir a la formulación de proyectos con los Comités de Cafeteros. Se están formulando presupuestos con los Comités Cesar-Guajira, Quindío, Boyacá y Magdalena.

**Administración y Depuración de Activos Fijos.** Con el apoyo de la Disciplina de Tecnología de Información y Comunicaciones de Cenicafé, se creó un aplicativo para la gestión de activos fijos, el cual facilitó su depuración.

Al 30 de septiembre de 2017, Cenicafé cuenta con 6.305 bienes que han sido adquiridos con recursos privados de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, de Entidades Cofinanciadoras y del Fondo Nacional del Café FON2 (Tabla 68). De estos activos se han inventariado un total de 5.165.



**Figura 136.** Presupuesto recursos propios por concepto.

En este período se efectuaron 126 bajas de activos, entregadas a título de donación a la Entidad sin Ánimo de Lucro: "Corpoinfantil", la cual realiza una destinación final sin contaminar el medio ambiente.

## Transformación SAP

SAP es el software de la FNC que soporta gran parte de las operaciones empresariales; por este motivo, los ajustes en las estructuras organizacionales y los generados por los cambios en la normatividad contable, entre otros, deben verse reflejados en este sistema, para asegurar la consistencia y confiabilidad de la información.

La aplicación de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF), junto con otros aspectos igualmente importantes, dio origen al proyecto de Transformación del sistema de información SAP. Dicha transformación implica que las parametrizaciones, datos maestros y desarrollos, sean transferidos a la nueva versión del sistema, proceso que debe terminar el 31 de diciembre de 2017 para la Federación.

Cenicafé ha participado activamente en el proyecto de Transformación, especialmente en los módulos: PS – Proyectos, PSM – Presupuesto y AM – Activos.

## Gestionar Talento Humano

### Formación del personal de nómina Cenicafé

Cenicafé presta especial atención a las gestiones para atraer personal altamente competente y calificado, y responder a las necesidades

Tabla 67. Convenios Nacionales e Internacionales.

Entidades Nacionales	Convenios	Millones \$ (1)	% Total
Colinagro S.A.	1	69	0,6%
Fidu. Previsora	2	112	1,0%
Fidu. Previsora - Casa Luker S.A.	1	149	1,4%
Fidu. Previsora - Sumicol	1	235	2,1%
Fidu. Previsora / U. Nacional	1	0	0,0%
Fidu. Previsora / RICCLISA	1	0	0,0%
FMC Colombia (Antiguo Cheminova)	1	52	0,5%
Agrocorp/Cosmocel	1	52	0,5%
Orbiotec S.A.S.	1	24	0,2%
Min.Agricultura	1	210	1,9%
Departamento del Huila	1	5.160	47,1%
Departamento de Caldas	1	485	4,4%
Dow Agros-cienses	1	53	0,5%
Subtotal convenios nacionales	14	6.601	60%
Entidades Internacionales	Convenios	Millones \$ (1)	% Total
Nestec	1	205	1,9%
GIA: International Division of Netherlands Agency Nestlé Nespresso - Nestec	1	1.565	14,3%
Bayer CropScience S.	1	218	2,0%
Jiffy Products of America	1	20	0,2%
Sustainable Agro Solutions S.A. (SAS)	1	11	0,1%
York Potash Ltd.	1	130	1,2%
International Development Research Centre - IDRC	1	918	8,4%
En formulación		1.280	11,7%
<b>Subtotal convenios internacionales</b>	<b>7</b>	<b>4.349</b>	<b>40%</b>
<b>Total(1)</b>	<b>21</b>	<b>10.950</b>	<b>100%</b>

(1) Incluye el saldo del año 2016 por \$4.767 millones y los desembolsos estimados a diciembre de 2017 por \$6.183 millones.



Tabla 68. Activos Año 2017.

Detalle Inventariado	Centros de Beneficio					Total	%
	Ofic. Central FON1	Ofic. Central Gest. Proyectos	Ofic. Central FON2	Cenicafé FON1	Cenicafé Convenios		
Total Inventariado	363	141	257	3.991	413	5.165	82%
Pendiente de Inventariar	143	11	12	958	16	1.140	18%
<b>Total Activos Fijos</b>	<b>506</b>	<b>152</b>	<b>269</b>	<b>4.949</b>	<b>429</b>	<b>6.305</b>	<b>100%</b>

de la Caficultura; para el año 2017, el 59% de los colaboradores tiene formación superior y el 30% cuenta con formación de posgrado (Tabla 69).

### Comisiones de trabajo

Durante el período octubre 2016 - septiembre 2017 se registraron 1.980 comisiones de trabajo, destacando la participación de los investigadores en los talleres de "Más Agronomía, Más Productividad" en diferentes zonas cafeteras del país.

## Gestionar Bienes y Servicios

### Compras y Contratación

El objetivo de este proceso es suministrar bienes y servicios con las condiciones de calidad, precio, oportunidad y relación costo beneficio requeridas por la Federación, a través de una relación comercial con los proveedores o contratistas. Una tarea permanente del área de compras y contratación es la búsqueda de nuevos proveedores y la actualización de información de los que se tienen en las bases de datos, con el propósito de disminuir los tiempos de respuesta y ser eficientes en la calidad de los productos y servicios adquiridos; por esta razón, 51, de los 605 proveedores registrados para el período 2016/2017, fueron proveedores nuevos, para un consolidado en los dos últimos años de 157 proveedores nuevos.

### Evaluación de Proveedores

Anualmente se lleva a cabo el proceso de evaluación de los proveedores, de conformidad con los lineamientos establecidos en el subproceso Gestionar compras y contratación.

Tabla 69. Formación personal nómina.

Nivel Académico	No. Personas	No. Personas
	Sept.2016	Sept.2017
Doctorado	16	17
Doctorado en formación	9	6
Maestría	28	33
Maestría en formación	24	18
Especialización	18	25
Especialización en formación	7	5
Pregrado	54	43
Pregrado en formación	7	8
Técnicos/tecnólogos	41	38
Bachiller/primaria	51	55
<b>Total</b>	<b>255</b>	<b>248</b>

Los proveedores evaluados serán aquellos que suministren bienes y servicios de alto impacto en los procesos de Investigación, teniendo en cuenta una escala que va entre cero y cinco, siendo cero muy malo y cinco el mejor.

En total, fueron evaluados 162 proveedores, de los cuales, el 94%, (152 empresas) obtuvieron una calificación destacada (Tabla 70), y el 6%, (diez empresas) obtuvieron calificación entre

3,0 y 3,9, debido a demoras en la entrega o fallas en el servicio postventa, las cuales no afectaron la calidad de los servicios.

### Reclamaciones Seguros Corporativos

En el período comprendido entre octubre de 2016 y septiembre de 2017, fueron gestionadas seis reclamaciones por motivos de hurto y daños por lluvias torrenciales, por un valor total de \$ 71 millones.

### Mantenimiento y Servicios

La sección de mantenimiento pertenece al Proceso Gestionar Bienes y Servicios, desde el cual se gestionan requerimientos del proceso desarrollar investigación científica y tecnológica.

**Tabla 70.** Calificación Evaluación de Proveedores.

2016					
Concepto	Hasta 1,9	Entre 2,0 – 2,9	Entre 3,0 – 3,9	Entre 4,0 – 5,0	Total
Evaluación de Proveedores Catalogados de Alto Impacto para la Organización	0	0	10	152	162

Los servicios ejecutados en Cenicafé son: de infraestructura, a equipos y al parque automotor.

### Gestión Metrológica

Con base en la priorización de los equipos a utilizar en el proceso desarrollar Investigación Científica y Tecnológica, y para asegurar la disponibilidad de los mismos en el desarrollo de las investigaciones, se muestra a continuación la cantidad de equipos atendidos por disciplina de investigación (Tabla 71).

**Tabla 71.** Mantenimiento equipos priorizados para investigación

Disciplina	Cantidad de equipos
Calidad	57
Entomología	20
Experimentación	34
Fisiología Vegetal	46
Mejoramiento Genético	100
Fitopatología	31
Poscosecha	12
Suelos	45
<b>Total</b>	<b>345</b>



# Federación Nacional de Cafeteros de Colombia

## Gerencia Técnica

---

### Programa de Investigación Científica

---

#### Centro Nacional de Investigaciones de Café “Pedro Uribe Mejía”

#### DIRECCIÓN

---

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo, Ph.D.  
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.

#### DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

---

##### Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos, M.Sc.  
Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp.  
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga\*\*  
Luz Fanny Echeverry G., Química  
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.  
Lady Juliet Vargas G., Ing. de Alimentos  
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química  
Duván Gallego A., Tecnólogo en Producción Agrícola  
Alexis Urriago Y., Técnico en Producción Agrícola  
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción  
Agropecuaria Ecológica  
Gustavo Echeverri M.

##### Fisiología Vegetal

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.  
Aristófeles Ortiz., Químico, M.Sc.  
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo  
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química  
Claudia Marcela Mora A.\*\*  
Marlio Fernando Abella D.\*\*  
Mario Franco A.

Claudia Patricia Valencia V.  
Laura Calle González, Pasante Universitario

##### Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, Ph.D.  
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc.\*  
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc.\*  
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga, M.Sc.  
Andrés Felipe Castro Q., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Vanessa Catalina Díaz P., Química, Esp.  
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental  
Wadi Andrey Castaño C., Ing. Agrónomo  
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola \*\*  
Leina Carina Vitobis A., Agrónomo  
Mónica María Bedoya R., Ing. Agrónomo  
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química  
Rigoberto Ochoa I., Tecnólogo en Administración de  
Empresas Agropecuarias  
Stephania Rincón B., Tecnóloga Química  
Sebastián Mejía G., Tecnólogo Químico  
Sebastián García B. Tecnólogo en Gestión de Recursos  
Naturales

Alejandro Molina Giraldo, Tecnólogo en Procesos Biotecnológicos  
 Wilder Andrés Gutiérrez A.  
 Arturo Gómez V.

### Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 Leidy Natalia Bermúdez F., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo, Esp.  
 Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo  
 Jorge Alexis Ramos P., Ing. Agrícola\*\*  
 Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola\*\*  
 Gustavo Bedoya C., Agrónomo  
 Carlos Augusto Ramírez C., Técnico Profesional en Técnicas Forestales\*\*  
 Miguel Ángel Erazo R., Tecnólogo en Agricultura de Precisión  
 Jonnier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en gestión agropecuaria\*\*  
 Gabriel Santiago Gil M., Tecnólogo en Producción Agrícola  
 Juan Gilberto Vargas P., Tecnólogo en Producción Agrícola

### Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.  
 María del Pilar Moncada Botero., Ing. Agrónomo Ph. D  
 Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
 Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo M.Sc.  
 Andrea Valencia O., Bióloga M.Sc.  
 Hernando A. Cortina Guerrero., Ing. Agrónomo M.Sc  
 Julio Quiroga Cardona., Ing. Agrónomo M.Sc  
 Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo  
 Lucía Ángel G., Bióloga  
 Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero  
 Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero  
 Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónico  
 Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria  
 Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café  
 Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola  
 Hernán Díaz C.  
 Cruz Elena Díaz M.  
 Omar Villarreal

### Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.  
 Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo Ph.D.

Lucio Navarro E., Biólogo, Ph.D  
 Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo, M.Sc.  
 Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial, M.Sc.  
 Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo  
 Ferney López F., Ing. Agrónomo/Contador  
 Mauricio Jiménez Q., Agrónomo  
 Laura Alexandra Laiton J., Ing. Agrónomo  
 Adriana Paola Gómez C., Tecnólogo en Administración y Producción Limpia de Café  
 Juan Paulo Pimentel S., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias  
 Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café  
 Wilmar Osorio C., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias \*\*  
 Juan Carlos Ortiz F.  
 Carlos Alberto Quintero A.  
 Claudia Bibiana Tabares B.  
 Faber de Los Ríos P.  
 Diana Marcela Giraldo V.  
 Alejandra María Pérez D., Pasante Universitario

### Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D  
 Álvaro Jaramillo Robledo., Ing. Agrónomo, M.Sc  
 Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola. Esp. \*\*  
 Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola \*\*  
 Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos  
 Alexander Restrepo Á., Tecnólogo en Electrónica  
 Myriam Giraldo M.  
 Luis Gonzaga Henao R.  
 Luis Fernando Torres Q.  
 Orlando Salazar G.

### Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo, Ph.D.  
 Nancy del Carmen Arciniegas B., Ing. Agrónoma, M.Sc.\*\*  
 Juan Manuel López V., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 Carlos Mario Calle., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
 Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de Computadores y Redes de datos.  
 Alejandro Gallego., Tecnólogo en Gestión Agropecuaria  
 Carlos Arturo González V.  
 Jorge Dicksson Ocampo M.  
 Jaroliver Cardona G.  
 Alexander Jaramillo J.  
 Ángela Lorena Castrillón M., Aprendiz

### Poscosecha

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola, Ph.D.  
 Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, Ph.D.  
 Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.  
 César Augusto Ramírez G., Arquitecto, M.Sc.

Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc.\*  
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico, M.Sc.\*\*  
Juan Carlos López N., Microbiólogo, M.Sc  
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico  
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química\*\*  
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola \*\*  
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista \*\*  
Viviana Lorena Bohórquez Z., Bióloga  
Cristy Mayerly González D., Ing. Ambiental  
Andrés Felipe Osorio O., Ing. Químico  
Gustavo Adolfo Gómez Z., Biólogo\*\*  
Jenifer Andrea Galeano S., Bióloga  
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica  
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura por Arco y por Soplete  
Mario Espinosa G.  
Javier Velásquez H.  
Samuel Castañeda.  
Walter Mauricio Osorio O.  
Sebastián Bravo C., Pasante Universitario  
Andrés Felipe Restrepo Z., Aprendiz  
Julliet Milena Jurando C., Pasante, M.Sc.  
Gustavo Emilio Zamudio C., Aprendiz Universitario

## EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.  
José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria  
Yolanda Castaño G.

### Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo\*\*  
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos  
Tito Alberto Ramírez S.

### Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, M.Sc.

### Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal, M.Sc.

### Estación Experimental La Catalina

Diego Fabián Montoya., Agrónomo  
Francisco Javier Álzate O.  
Vidal de Jesús Largo T.

### Estación Experimental La Trinidad

Carlos Julio Ramírez Q., Ing. Agrónomo

### Estación Experimental Paraguaito

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo\*\*  
Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

### Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

### Estación Experimental San Antonio

Carlos Roberto Ariza O., Ing. Agrónomo, Esp.

## APOYO A LA INVESTIGACIÓN

### Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.  
Hernando García O., Ing. Agroforestal  
Lina Marcela Díaz Bejarano., Estadístico \*\*

### Economía

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.  
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M.Sc  
Marisol González G., Economista\*\*

### Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, M.Sc.  
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.  
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual  
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual  
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual  
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero  
Julieth Sofía Velloza B., Profesional en diseño gráfico  
Paula Andrea Marroquín B., Diseñadora Gráfica  
Carolina Quintero E. Aprendiz  
Laura Henandez L., Aprendiz

### Unidad de Gestión de Proyectos

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos, M.Sc.  
Paola Andrea Espejo G., Antropóloga, Esp.  
Diana Lorena García O., Ingeniera Industrial, Esp.  
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista\*\*  
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y Zootecnista\*\*  
Josué David Espitia F., Economista

### Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico  
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.\*\*  
Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas, Bibliotecóloga, Esp.

Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.  
 Daniel Orozco J., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
 Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
 Humberto Iván Ríos, Ing. Ambiental, Esp.  
 Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
 Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.  
 José Rubiel Castrillón G., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones.\*\*  
 Audberto Quiroga M., Biólogo, Esp.  
 Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, Esp.  
 Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía  
 Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información

## UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.  
 Rufina Perdomo G.  
 Nancy Elena Pérez M., Contador

### Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.  
 Jesús Danilo González O., Contador, Esp.  
 Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público  
 María Camila Ramírez J., Contadora, Esp.  
 Jesús Alberto Vergara T., Aprendiz  
 Diana Marcela Buitrago R. Administración de empresas

### Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista, M.Sc.  
 Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial  
 Luisa Fernanda Medina S., Técnico en gestión del servicio \*\*  
 Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios  
 Daniel Lince C., Tecnólogo en gestión de negocios/  
 Técnico en Logística  
 Lina María Giraldo, Administrador financiero  
 Gabriel Antonio Melo P.  
 Julián Marín González., Aprendiz

Kevin Andrés Cuervo R., Aprendiz  
 Daniela Morales R. Pasante Universitario

### Gestión de Bienes y Servicios-Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónico\*\*  
 Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.  
 Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica  
 Robinson Guzmán G., Técnico Electricista  
 Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica  
 Javier Vanegas V., Técnico Electricista  
 Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera  
 Uriel López P.  
 Rogelio Rodríguez G.  
 Eduardo Villegas A.  
 Fredy Hernán Osorio C.  
 Jhon Fredy Rojo G.  
 Jorge Eduardo Sepúlveda V.  
 Jorge Antonio Arias A.  
 Carlos Andrés Hernández G.  
 Fabián Sánchez L.  
 Mario López L.

### Gestión de Tesorería

Carlos Andrés Pineda M., Contador Esp.

### Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, M.Sc.  
 Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional, Esp.\*\*  
 Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de Negocios\*\*  
 Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.  
 Luz Adriana Tibaduiza G., Aprendiz Universitario  
 Yuli Andrea Bedoya López., Aprendiz

### Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc.  
 Juan Manuel Muñoz O., Administrador de empresas, M.Sc.  
 Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp. PMP®  
 Juan Sebastián Gómez C., Contador, Esp.  
 Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas, Esp.  
 Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión Administrativa  
 Ángel Otálvaro M., Aprendiz

\*Comisión de Estudios

\*\* Adelantando estudios en el país



**Cenicafé**

Ciencia, tecnología  
e innovación  
para la caficultura  
colombiana

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)