

# INFORME ANUAL **Cenicafé** 2016





Federación Nacional de  
Cafeteros de Colombia

**Ministro de Hacienda y Crédito Público**

Mauricio Cárdenas Santamaría

**Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**

Aurelio Iragorri Valencia

**Ministro de Comercio, Industria y Turismo**

María Claudia Lacouture

**Director del Departamento Nacional de Planeación**

Simón Gaviria Muñoz

**Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros**

Nicolás Pérez Marulanda

**Comité Nacional**

Período 1° enero/2015- diciembre 31/2018

Jose Fernando Montoya Ortega

Jose Alirio Barreto Buitrago

Eugenio Velez Uribe

Danilo Reinaldo Vivas Ramos

Pedro Gonzalo Carrillo Urariyu

Javier Bohorquez Bohorquez

Octavio Oliveros Collazos

Edilberto Rafael Alvarez Pineda

Jesús Armando Benavides Portilla

Alfredo Yañez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

Alejandro Corrales Escobar

Jorge Julian 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**

Carlos Felipe Robayo Duque

**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. Ingeniería Agrícola, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.

Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

José Ricardo Acuña S.

Ph.D. Microbiólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Siavosh Sadeghian Kh.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

Sandra Milena Marín L.

MSc. Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

## Edición de textos

Sandra Milena Marín L.

## Diseño y diagramación

Óscar Jaime Loaiza E.

## Fotografías

Archivo Cenicafé

## Impreso por

Editorial --

# Contenido

## Resumen Ejecutivo

5



## Disciplinas de investigación

Entomología  
Fitopatología  
Fitotecnia  
Fisiología Vegetal  
Poscosecha  
Mejoramiento Genético  
Experimentación  
Suelos  
Calidad

17



## Disciplinas de apoyo a la investigación

Agroclimatología  
Biometría  
Economía  
Tecnología de Información y Comunicaciones  
Unidad de Gestión de Proyectos  
Divulgación y Transferencia

105



## Recursos humanos y financieros

121







# Resumen Ejecutivo



# Resumen ejecutivo

## Centro Nacional de Investigaciones de Café



Las investigaciones de Cenicafé se derivan del Plan Quinquenal de Investigaciones, y permiten generar nuevos conocimientos y tecnología de acuerdo con los lineamientos del Plan Estratégico de la Federación de Cafeteros y, en concordancia, con las directrices de la Gerencia Técnica. Durante el 2016 se realizaron modificaciones significativas en la estructura del proceso de investigación, centrando la planeación y ejecución en las Disciplinas del Centro con iniciativas enfocadas hacia los tres componentes de la rentabilidad económica

del cultivo: aumentos de la productividad, mejora en la calidad y eficiencia en el uso de insumos y mano de obra. En este sentido, se condujeron 197 proyectos y actividades de investigación, dentro las cuales se destacan los siguientes resultados.

### Entomología

En estudios de biología de plagas se diagnosticó la situación de cochinillas de las raíces del café en Cauca, Antioquia, Caldas, Quindío y Risaralda, y se encontró que más del 70% de los cafetales menores de 2 años tienen presencia de estos insectos. Se

realizaron cursos presenciales teóricos y prácticos con todos los Extensionistas de estos departamentos, con el fin de recomendar el manejo integrado a los caficultores, el cual fue validado en Norte de Santander y Valle del Cauca. Se identificó a *Toumeyella coffeae*, nuevo reporte de plaga del café, en todos los departamentos evaluados.

En un seguimiento a las poblaciones de broca, en cuatro perfiles altitudinales en la cuenca geográfica del río Risaralda en el departamento de Caldas, se reportaron aumentos en temperatura hasta de 3°C en las altitudes

más bajas, durante el evento El Niño fuerte del 2015-2016. Se registraron las mayores capturas de adultos de broca y niveles de infestación, los cuales permitieron emitir alertas tempranas para el manejo integrado de la broca, durante los Diagnósticos Nacionales que realiza la Gerencia Técnica, cuatro veces al año, desde el 2010.

Se corroboró el efecto como enemigo natural del hongo *Beauveria bassiana*, con más del 90% de control de la broca en vuelo, una vez llegaron las lluvias en el mes de marzo de 2016. Se evaluó en el campo una estrategia de control agroecológico de la broca usando las plantas repelentes lantana y tabaco, y los atrayentes etanol y metanol en mezcla, con registros de diferencias en el porcentaje de broca al interior de las parcelas durante los períodos críticos de ataque de la broca. Se evaluó la disminución de poblaciones de broca en híbridos de la variedad Castillo® e introducciones etíopes. Se obtuvieron dos prototipos de un producto natural para el control de la broca, cuya patente fue publicada con la Resolución No. 39025 de la Superintendencia de Industria y Comercio. Se corroboró la disminución de broca usando las canastillas de acción manual para recolectar frutos del suelo, con costos y eficacias superiores a un equipo aspirador motorizado de espalda.

En control biológico de plagas se seleccionaron dos metabolitos secundarios y dos estrategias

de microencapsulación en el desarrollo de productos insecticidas no tóxicos para el control de plagas.

Se estandarizó una cría de *Zelus* sp., enemigo natural de la chamusquina del café, en condiciones de laboratorio, y se obtuvo el ciclo de vida y la duración de sus estados. Se mantiene un cepario de hongos entomopatógenos, a partir del cual se seleccionó una cepa de *Metarhizium acridium* para el control de saltamontes en cafetales de Antioquia y *M. robertsii* con potencial de uso en el control de la cochinilla *Puto barberi*. Se criaron y evaluaron dos especies de depredadores de la broca en el laboratorio; tanto *Catantus quadricollis* como *Ahasverus advena* disminuyen más del 60% de la broca que se encuentra dentro de los frutos de café. Se encontró en el campo a la especie de hormiga *Solenopsis picea* que depredó más del 80% de la broca en frutos infestados.

Se atendieron caficultores en los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima, Norte de Santander, Huila y Nariño, donde se reportaron cinco nuevos registros de insectos fitófagos en el cultivo de café. Se introdujeron 135 registros de insectos plagas potenciales del café y de sus enemigos naturales en el Museo Entomológico "Marcial Benavides". Se avanzó con investigaciones en estrategias de control de plagas.

## Fitopatología

En el seguimiento que se hace a la roya del cafeto en genotipos experimentales provenientes de cruzamientos de Caturra x Híbrido de Timor desarrollados por Cenicafé, se sigue observando la aparición y coevolución de nuevas razas o aislamientos del patógeno en diferentes Estaciones Experimentales, y que progresivamente van infectando nuevos materiales. El fenómeno de La Niña y la ola invernal del 2008-2009 facilitaron el incremento de nuevas razas, que fueron infectando un mayor número de genotipos a partir del 2011 y 2012, y que alcanzaron los valores más altos a partir del 2014 y 2015, lo cual continúa con dinámica variable en las regiones. No hay evidencia de que estas nuevas razas aún estén generando un efecto en la producción. En la evaluación de plantas derivadas de diferentes introducciones del Híbrido de Timor, sembradas en la Estación Experimental Naranjal, en el 28% de ellas no se registró infección por roya, el 34% presentó alta resistencia incompleta y el 23% mostró resistencia incompleta media a baja. Dentro de los estudios sobre epidemias de roya en la zona cafetera, se avanzó en el desarrollo del Índice Compuesto de Infección de Roya (ICIR) y su articulación al sistema de información geográfica ArcGis®, para realizar un análisis espacial, con el fin de establecer alertas tempranas para la toma de decisiones. Este ICIR analiza en tiempo real, patrones de favorabilidad climática para la incidencia de la enfermedad en el campo, con base en los registros de clima de los últimos 28 días de la Red Climática de FNC y Cenicafé.

En los diagnósticos nacionales de roya que se realizan con el Servicio de Extensión, en cultivos comerciales en todos los departamentos, el rango del promedio en los últimos 6 meses entre departamentos ha estado entre 0,7% y 40,8% de incidencia de roya en variedades susceptibles, y entre 0% y 4,4% en variedades resistentes. Dentro de los departamentos con lotes con alta incidencia de roya están Huila, Tolima, Santander, Cauca, Nariño y Quindío.

En cuanto al manejo integrado de enfermedades, se continúa con diferentes experimentos evaluando alternativas de síntesis química y productos biológicos para el control de roya, mancha de hierro, mal rosado, muerte descendente y gotera, y sus efectos en la producción, en investigaciones que se realizan con el apoyo de la Gerencia Técnica de la FNC, en convenio con las compañías Bayer, Cheminova y Orbiotec, entre otras. Como resultado innovador se plantean las aplicaciones programadas de fungicidas seleccionados para el control de la roya, con base en la ocurrencia de la floración principal, comparadas con las de calendario fijo para la cosecha principal, según la zona y distribución de la cosecha en el año, siendo una alternativa adicional para el manejo de la roya. De igual forma, se viene trabajando en la evaluación de 11 moléculas o productos considerados como inductores de resistencia en las plantas, que podrían ser incorporados en el manejo preventivo de enfermedades, inicialmente de la roya del cafeto en la etapa de almácigo. Teniendo en cuenta los fuertes ataques de gotera en años recientes, en algunas zonas con ambientes favorables a la enfermedad, se realizaron visitas técnicas de apoyo en Nariño, Cauca y Boyacá, y se iniciaron estudios para avanzar en el conocimiento de su biología, epidemiología y manejo.

## Fitotecnia

En las investigaciones sobre la agronomía y establecimiento de los cafetales se tienen los siguientes resultados:

La evaluación comparativa de uno hasta tres tallos por sitio sobre la producción de café, indica que la producción de café con dos tallos por sitio es 23,1% mayor que la registrada para una planta con un tallo. En cuanto a arreglos espaciales, los resultados parciales muestran que en la Estación La Trinidad (Líbano, Tolima) la mayor producción con el arreglo espacial a 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha) es 31,1% y 60,2% superior, que con los arreglos a 0,75 x 1,4 m y 1,0 x 2,0 m, con dos tallos por sitio, respectivamente.

En sistemas agroforestales, en el departamento de Santander, se obtuvieron rendimientos máximos de 12.387 kg de cps (acumulado de cinco cosechas), con sombrío establecido con 123 árboles/ha, independiente de la especie leguminosa empleada. En la Granja Blonay, en el departamento de Norte de Santander, los resultados parciales de producción de café con niveles de fertilización entre 0% y 50%, muestran que los máximos rendimientos se obtuvieron con densidades de siembra de 9.000

plantas/ha, con aplicaciones del fertilizante entre el 75% y 100% de la dosis recomendada en los resultados del análisis de suelos; además, el nivel de producción alcanzado es igual con 7.200 y 9.000 plantas de café por hectárea.

## Fisiología Vegetal

Se adelantaron investigaciones en la caracterización de la floración en el germoplasma de café, donde se encontró que algunos de los genotipos evaluados presentan diferencias estadísticas por localidad y semestre, en cuanto a la expresión del pico principal de floración, en términos de magnitud; pero dichas diferencias no lograron ser consistentes para los genotipos a través de los semestres o de las localidades evaluadas. En cuanto a la evaluación de imágenes espectrales en la identificación de genotipos y cuantificación de la floración, con las pruebas realizadas con el espectroradiómetro se diferenciaron algunas de las líneas componentes de la Variedad Castillo® a través de su firma espectral.

En las evaluaciones de los contenedores Jiffy Pellet, como alternativa para la elaboración de almácigos de café, se definió que el momento oportuno para realizar el trasplante al campo de las plantas desarrolladas en los contenedores de 9,5 y 15,0 cm es de 91 y 106 días después del trasplante, respectivamente, con un margen de tiempo adicional de 14 y 30 días, en cada caso. Adicionalmente, se evaluó el efecto de diez enraizadores comerciales en plántulas de

café (*Coffea arabica* L.) en etapa de almácigo, y se encontró que el tratamiento con fertigro+rootex promueve el incremento en biomasa seca de las plántulas de café en el almácigo.

Se realizó la evaluación de la influencia de las condiciones fisicoquímicas del suelo sobre el crecimiento, la distribución espacial y la morfología del sistema radical del cafeto. Se observó que a partir de la raíz principal, en los primeros 20 cm del tronco, se encontró el mayor porcentaje de raíces vivas.

Finalmente, en la evaluación del efecto de la eliminación de ramas no productivas sobre el crecimiento y la producción de plantas de café, no hubo cambios significativos con relación al testigo sobre la distribución de fotoasimilados hacia los frutos (producción), debido a la eliminación del área foliar en las ramas bajas.

## Poscosecha

Con el fin de aumentar la eficiencia de la mano de obra en la recolección de café se están evaluando equipos portátiles, entre ellos el Twist, operado con baterías, con el cual se realizaron ensayos en un lote sembrado con Variedad Castillo®, con distancia de siembra 2 x 1 m, de quinta cosecha, con carga de 2,0 kg de frutos por árbol y concentración superior a 60%, condiciones favorables para el empleo de esta tecnología. Se obtuvo un rendimiento de 167 kg/jornada-operario, 6,8% de frutos verdes en la masa cosechada, 5,01 frutos/árbol caídos al suelo y 7,49 frutos maduros dejados en el árbol, en promedio.

Se concluyó la construcción de la Central de Beneficio Comunitaria en el municipio de Belén de Umbría (Risaralda), con la participación de la Asociación de productores de La Cuchilla del San Juan. Se instalaron los equipos para los procesos de beneficio y secado, y actualmente se están realizando los ajustes para permitir su empleo en la cosecha del segundo semestre del 2016.

Finalizó la evaluación de un equipo diseñado para retirar granos defectuosos en el estado de lavado, utilizando visión de máquina. En promedio, se obtuvieron las siguientes eficacias de separación: granos brocados 91%, granos con fermento avanzado y granos inmaduros 87%, cada uno, y granos con daño mecánico 91%.

Actualmente, se evalúa la adición a la pulpa de las aguas residuales del lavado (ARLs), resultantes de la tecnología Ecomill®, observando en promedio retenciones de 86%, 89% y 92% de las aguas, con relaciones de pulpa (en peso) y ARLs (en volumen) de 2:1, 2,5:1 y 3,0:1. Adicionando a la misma pulpa los drenajes, se logra la retención del 100% de éstos y el control del 100% de la contaminación causada por las ARLs del Ecomill®.

Con el fin de obtener café de alta calidad con menor requerimiento de energía se adelanta la evaluación de un equipo de flujos concurrentes – intermitente, utilizando temperaturas de aire de secado de 68,2, 78,2 y 53,1°C, en promedio, flujos de aire de 8,8, 7,6 y 9,7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> y flujos máxicos de granos a través del secador de 253,3, 236,3 y 248,1 kg de café por hora. Con un promedio de temperatura del aire de secado de 53,1°C se obtuvo café seco, con temperatura máxima de 41°C y con aspecto similar al que se observa en el secado en silos. La eficiencia térmica en los ensayos fue 4,16, 4,97 y 5,77 MJ.kg<sup>-1</sup> de agua evaporada, respectivamente, inferior a la observada en silos (> 10 MJ.kg<sup>-1</sup> de agua evaporada).

Con el fin de disminuir los tiempos de proceso y el tamaño de las plantas de tratamiento de las aguas residuales del café, se evaluó la utilización de sales químicas y extractos naturales. Los mejores resultados se obtuvieron con cal agrícola, como tratamiento primario, a una dosis de 3.000 ppm sobre aguas residuales del café recién generadas, disminuyendo la concentración de DQO en valores medios cercanos al 50%, en menos de 24 h. La utilización de cloruro de aluminio y extracto de *Moringa oleifera*, como tratamiento secundario, permitió una disminución adicional de la DQO del agua en valores medios entre el 60% y el 75%. La valorización de los subproductos provenientes del beneficio ecológico permitió la obtención de etanol a partir de los subproductos del Becolsub y del Ecomill®, inoculados con levadura, y la obtención de abonos orgánicos utilizando la larvicultura y ésta combinada con la lombricultura, con eficiencias cercanas al 50% en base seca.

## Mejoramiento Genético

En el desarrollo y evaluación de poblaciones mejoradas, se evaluaron 45 progenies F<sub>4</sub>RC<sub>1</sub>

descendientes de diferentes progenitores de *C. canephora*, entre las que predominaban los descendientes de las selecciones BP.358 EA131 (17 progenies) y BP.46 EA239 (siete progenies); como testigo se tuvieron la Variedad Castillo®, Caturra y San Bernardo. Se seleccionaron siete progenies altamente productivas y resistentes a la roya, con una altura de planta estadísticamente igual a la de la Variedad Castillo® y con características de grano similares a las de las variedades comerciales. Dentro de ellas se seleccionarán plantas para su evaluación en experimentos regionales.

Así mismo, se estudiaron progenies procedentes de cruzamientos entre generaciones avanzadas (F5 y F6) de Caturra x Híbrido de Timor, que han perdido la resistencia completa a la roya, selecciones entre generaciones  $F_3RC_1$  y  $F_4RC_1$  procedentes de Caturra x (Caturra x *C. canephora*), obtenidas por la vía de híbridos triploides y germoplasma etíope. De acuerdo con los resultados obtenidos, existe un grupo de progenies promisorias, que reúne un conjunto de características agronómicas deseables y dentro de las cuales puede hacerse selección de individuos, para su evaluación en ensayos previos a su liberación. De las 85 progenies evaluadas, el 92% presentó un promedio de producción mayor a la Variedad Castillo® (5,51 kg/planta equivalentes a 483 @ cps/ha) y el 71% de ellas fue superior al testigo más productivo (IAPAR-59=

6,41 kg/planta, 683@ cps/ha), con una densidad de siembra del experimento de 6.666 plantas/ha. Dentro de este grupo, sobresalen 14 progenies con una producción significativamente superior a la Variedad Castillo®, de acuerdo a la prueba de Dunnett ( $p=0,05$ ). Para el caso de la altura de la planta a los 24 meses de edad, el rango estuvo entre 115,3 y 166,0 cm. En este sentido, el 55% de las progenies presentaron un promedio de altura inferior a la variedad Caturra.

Para hacer frente a los eventos de variabilidad climática de El Niño y La Niña, que disminuyen la producción de café en algunas regiones de la zona cafetera colombiana, la Disciplina de Mejoramiento Genético está desarrollando métodos para la evaluación de accesiones de la Colección Colombiana de Café (CCC) por tolerancia a estrés hídrico. Se evaluaron cuatro accesiones, tres Etíopes (E.177, E.480 y ET.56) y una variedad comercial (Típica). Las accesiones E.177 y E.480 tuvieron un peso seco de la raíz, del tallo y total similar al peso de la variedad comercial con riego. Estas accesiones podrán ser utilizadas como progenitores para el futuro desarrollo de variedades tolerantes al déficit hídrico.

Otro de los factores estudiados fue la eficiencia en la asimilación de fertilizantes. Se finalizó un estudio cofinanciado por Colciencias sobre el metabolismo de asimilación del nitrógeno en el café desde la perspectiva de su regulación por el

2-oxoglutarato, un intermediario del ciclo de Krebs que coordina el metabolismo del nitrógeno y el carbono bajo el control de genes de factores de transcripción "*Dof*". Se determinó que las medias de las actividades de varias enzimas involucradas en este metabolismo fueron mayores en los tratamientos con el 2-oxoglutarato, con relación a la media del control, asumiendo un nivel de significancia del 5%. Se identificó un gen ortólogo al gen *Dof1* de maíz y se determinó que su expresión fue significativamente mayor en las raíces que en las hojas de plántulas de café. Se obtuvo la secuencia completa del gen *Dof* en el genoma de *C. arabica*, así como sus formas alélicas, siendo el primer reporte de la secuencia completa del gen para esta especie.

Finalmente, dentro de las estrategias de la Disciplina de Mejoramiento Genético está el desarrollo de variedades con resistencia a enfermedades actuales y potenciales que puedan afectar la rentabilidad del cultivo del café en Colombia. Mediante el uso de marcadores moleculares (SAT207 y SAT235), se evaluó la presencia del gen de resistencia al CBD (*CK-1*) en cada uno de los progenitores de los componentes de las variedades Colombia, Tabi y Variedad Castillo®, y en las variedades Caturra, Típica y Borbón, además del Híbrido de Timor. Los resultados mostraron la ausencia del gen *CK-1* en las variedades Caturra, Típica y Borbón y en las líneas derivadas del Híbrido de Timor 832/1, que fue progenitor de Costa Rica 95 y del 17,4% de los componentes de Tabi, sugiriendo susceptibilidad a

la enfermedad. Dentro de los progenitores de la Variedad Castillo® y sus regionales, el 84% de los materiales heredaría la resistencia a CBD de forma estable. La estrategia de diversidad de componentes portadores del gen de resistencia hace que la población en general, esté protegida, una situación similar ocurre para la variedad Colombia, con un 9,68% de líneas con progenie susceptible. En el caso de los componentes regionales de la Variedad Castillo®, el porcentaje de componentes con progenie susceptible varía entre el 8,18% y el 50%, este último valor para la Variedad Castillo® Pueblo Bello.

## Experimentación

Para 2016, Cenicafé continúa con ocho Estaciones de Experimentación, con un área total de 529 ha. De éstas, 179,85 ha se encuentran destinadas al cultivo del café, con un 51,2% destinadas a la producción de semilla de variedades Castillo®, Castillo® Regional y Tabi, el 18,2% a actividades de investigación y el 30,6% en el parque experimental, que equivale a áreas con lotes potenciales para establecer nuevas actividades de investigación.

Durante lo corrido de 2016 se han distribuido 55.041 kg de semilla a los diferentes Comités de Cafeteros para la renovación del parque productor de Colombia. Entre los Comités que demandaron mayor cantidad de semilla se destacan Santander con 7.296 kg, seguido de Cauca con 6.024 kg, Antioquia con 5.316 kg y Valle con 5.209 kg.

En cuanto a la variedad de semilla que se distribuyó en el período se resalta el 65% de la Variedad Castillo® general, seguido de la Variedad Castillo® El Tambo con el 14 %, la variedad Castillo® Naranjal con el 8,0% y el 4,0% de la Variedad Castillo® Pueblo Bello.

Se continuó con el trámite de derechos de obtentor de las progenies de la Variedad Castillo®. Para este propósito, durante el año 2015 y 2016 se inscribieron en el Registro Nacional de Variedades las progenies BH1247, CU1843, CU1778 y CU2021 pertenecientes a la Variedad Castillo® y se dio inicio al proceso de obtención del certificado de obtentor para las progenies BH1247, CU1843, CU1778 y CU2021, según la Resolución 345 de la Comunidad Andina de Naciones. En la actualidad se tienen en proceso de obtener los derechos para 12 progenies componentes de la Variedad Castillo®.

## Suelos

Se realizaron estudios relacionados con la fertilidad y conservación del suelo, dinámica de microorganismos, nutrición de cafetales en las diferentes etapas del cultivo y control de arvenses.

En marco del proyecto GIA se elaboraron 130 pre-diseños y 52 diseños para implementar la restauración ecología y prácticas en conservación de suelos y agua, en las 25 microcuencas de cinco departamentos cafeteros. Con el mismo enfoque se elaboraron mapas temáticos de riesgo por movimientos en

masa en la zona cafetera del departamento de Caldas.

Con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad del suelo en el cultivo de café a la variabilidad climática se dio inicio a una investigación en 438 predios cafeteros, en los departamentos de Risaralda y Caldas, en el marco del proyecto con el IDRC (*International Development Research Centre*, por sus siglas en inglés). Por otra parte, se utilizaron 255.000 registros históricos de análisis de suelos, obtenidos durante las últimas tres décadas, para hacer una primera aproximación regional de la fertilidad del suelo, para 20 departamentos; al respecto, se identificaron la acidez y los bajos contenidos de la materia orgánica como los puntos más críticos.

Dado que la acidez del suelo constituye un común denominador en la mayoría de las regiones, se adelantó una metodología rápida de laboratorio para cuantificar la cantidad de cal necesaria en su corrección. Igualmente, se ajustó la metodología para determinar la capacidad de almacenamiento de agua de las unidades cartográficas de suelos más comunes y, con base en los resultados obtenidos en el proyecto de Regalías de Huila, se formularon recomendaciones de manejo para tres municipios.

En cuanto a los microorganismos del suelo respecta, se dio inicio a una investigación para evaluar el efecto de la fertilización en las poblaciones de bacterias involucradas en el ciclo de nitrógeno y se aislaron hongos solubilizadores de fósforo.

Para suelos representativos del departamento de Risaralda se identificaron las propiedades del suelo que afectan la disponibilidad de calcio, magnesio y potasio, así como la variabilidad horizontal y vertical de la materia orgánica. En esta misma localidad se evaluó el efecto de herbicidas pre-emergentes y post-emergentes en el control de arvenses.

Con respecto a la nutrición de los cafetales, para la fase de almácigo se evaluó la respuesta a fertilizantes y enmiendas en el departamento de Risaralda, así como la extracción de macro y microelementos para condiciones de los departamentos del Huila y Cauca; se encontró que la aplicación de micronutrientes, en particular el boro, contribuye a incrementar la productividad de café cuando el suelo es deficiente en este elemento. Se corroboró que es posible obtener buenas producciones de café siguiendo las recomendaciones del análisis de suelos, empleando mezclas físicas de fertilizante simples o complejos granulados; en este sentido, es fundamental la diferencia en el costo de los insumos.

## Calidad

Las investigaciones que se desarrollaron en Calidad tuvieron como objetivo generar conocimiento y controles en el proceso de tostación del café y también se evaluaron las características químicas y sensoriales del café producido en Caldas y en Huila.

Se determinó el efecto favorable de las bajas

temperaturas ambiente (13 a 17°C) en la bioquímica de la fermentación, en la calificación de la calidad del café y en la frecuencia de sabores especiales. De esta forma, en la fermentación del café debe controlarse y fijarse la temperatura, escoger el sistema (sólido o sumergido) y el tiempo, dependiendo de las operaciones en la finca y del perfil de sabor que se desee ofrecer al consumidor.

Se probaron diferentes perfiles de tostión del café: combinaciones de temperaturas iniciales de pre-calentamiento y finales, en relación con la calidad en taza y con los cambios en la composición química del grano de café verde y tostado. Para el tipo de tostadora de laboratorio usado, se ha encontrado una tendencia en la influencia de las temperaturas, así: temperaturas muy altas de pre-calentamiento, como 210°C, y temperaturas finales muy altas de 200°C o muy bajas de 175°C, influyen en desviaciones de la calidad del café, por defectos quemado y crudo. Los principales cambios observados entre la composición bromatológica del café verde y tostado son: disminución de la sacarosa, ácidos cítrico y málico, aumento de ácidos quínico, fórmico y acético, y de proteínas totales, cafeína y lípidos totales. En el café verde se detectaron 13 compuestos volátiles y en el tostado 53.

Se analizó la calidad en taza y las características fisicoquímicas de algunos de los cafés tostados en Colombia de las categorías Gourmet y Premium, vendidos en supermercados de Manizales, y se encontró que la calidad

ofrecida en los empaques del 58% de estos productos no corresponde a la calidad medida en la preparación en taza. Los productos de menor calidad presentaron características a rancio, grasa, viejo, tierra, humo y vinagre, que se asocian a fallas en los procesos de tostión y empaque, y a fallas en el control de la calidad de la materia prima. También se analizó la calidad de cafés de los principales países productores de café que fueron tostados y comercializados en una empresa de Estados Unidos. Los cafés de Centroamérica, Jamaica, Hawái y Etiopía se destacaron por su mejor calidad.

Además, se evaluaron las características químicas y sensoriales del café producido en Caldas y Huila. Se caracterizaron 117 fincas de Huila, de las cuales el 84% de las muestras analizadas presentaron puntajes entre 80 a 84,9 en la escala SCAA (*Specialty Coffee Association of America*, por sus siglas en inglés), con notas en taza a chocolate, dulce, frutal, herbal, miel, floral y cítrica. Para el café de Caldas, se encontró al menos una muestra de cada municipio con calificación mayor a 83,5 en la escala SCAA, que indica que el origen del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas tiene el potencial de producir café de alta calidad; sin embargo, también se evidenciaron inadecuadas prácticas de beneficio.

## Agroclimatología

Se está trabajando en la Red Meteorológica y Servicio Agroclimático, con el fin de restablecer, fortalecer y disponer una red y un servicio

de agro-clima de calidad y confiabilidad en la información. En el proyecto de Gestión Inteligente del Agua (GIA) se cuenta con la actividad de implementación de estaciones agroclimáticas e hidroclimáticas en las microcuencas asociadas a los proyectos GIA y el Sistema General de Regalías Huila, con el fin de desarrollar herramientas para la toma de decisiones en la caficultura de Huila.

Se realizaron análisis de evapotranspiración de referencia y se determinó la ocurrencia de períodos secos y húmedos a nivel decadiario en la Estación Experimental Naranjal. Se realizó el mantenimiento a la Red Meteorológica Cafetera, dando prioridad a las Estaciones Meteorológicas Convencionales (EMC), con el objetivo de preservar la continuidad de la serie climática. Se ajustaron algunos procesos de verificación y control de calidad de los registros de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs), mediante la automatización de los procesos de calibración de los sensores de radiación global, el ajuste de los parámetros de calibración de los sensores de humedad del suelo y mediante el perfeccionamiento de un procedimiento para el control de la calidad de los registros de precipitación realizado por las EMAs, basado en los registros de las EMC. Además, se instalaron 40 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs), entre ellas, ocho MicroEMAs, que suministrarán información micrometeorológica para el monitoreo de plagas y enfermedades. Se fortaleció el convenio entre el Instituto de Hidrología, Meteorología

y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y Cenicafé con el apoyo en la recepción de registros de los satélites, y se establecieron vínculos web para el intercambio de información de las EMAs entre las dos instituciones.

## Biometría

Se hizo una revisión de los resultados de 5 años de evaluaciones en el campo de los niveles de infestación por broca e infección por roya, en lotes de la caficultura colombiana y de cómo las estrategias específicas en el manejo de la broca y roya generaron información para una mejor comprensión de ellas, con lo cual se complementan los esfuerzos para mantener la producción de café como una actividad económica viable y sostenible en las zonas rurales de Colombia. Se destaca en la población de muestreo el incremento de las variedades resistentes, pasando de una caficultura con un porcentaje de variedades resistentes cercanas al 40% para los primeros meses del año 2011, a un 90% para el mes de mayo de 2015, con una reducción de los niveles de infección por roya por debajo del 4,9% para los últimos dos años. Para la evaluación de mayo de 2015, es notable que 17 departamentos tienen más del 75% de lotes sembrados en variedades resistentes y la infección promedio por lote está entre 0% y 2,4%. En los lotes sembrados en variedades susceptibles, el promedio de infección por roya fluctúa entre 1,3% y 30,9%. Con respecto a los resultados obtenidos del promedio de infestación por broca en el lote, de las evaluaciones

realizadas en mayo de 2011 y mayo de 2016, se observa para la primera evaluación que 14 de 19 departamentos presentaron niveles superiores del 6% de infestación por broca, mientras que 5 años después, ninguno de los departamentos presentó porcentajes de infestación superiores al 3,4%, y en ocho de ellos los niveles de infestación fueron iguales o menores del 2%.

## Tecnología de Información y Comunicaciones

Dentro de la Disciplina de Tecnología de Información y Comunicaciones se trabaja en los sistemas de información, soporte y sistemas de información geográfica; este último enfocado en el soporte, instalación, investigación y desarrollo de aplicaciones en el entorno SIG para la institución. Durante el presente año el grupo implementó una estrategia de capacitación e instalación del software ArcGIS con un uso enfocado hacia la caficultura.

El Centro de Documentación, Alberto Machado Sierra, fortaleció la opción de documentos en texto completo en la página web de Cenicafé, correspondiente al enlace de biblioteca: [http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/enlaces\\_de\\_interes](http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/enlaces_de_interes) con la adición de la base de datos ACSESS DL, para consulta en línea de documentos en las áreas de cultivos, suelos y ciencias medioambientales. Las bases de datos incluidas son gratuitas para Cenicafé, debido a la participación

en redes de bibliotecas como RIDAC, la cual es liderada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y ScienceDirect y Scopus, subsidiadas por Colciencias.

A partir de este año, el Centro de Documentación de Cenicafé fue incluido en la lista de códigos MARC para organizaciones (biblioteca del Congreso de los Estados Unidos). Esta lista es una herramienta de referencia que otorga identificadores estándares, a nivel internacional, para las instituciones que emplean registros MARC y para la organización de proyectos de cooperación a escala regional, nacional o internacional. Además, representa los nombres de bibliotecas y otras organizaciones que requieren ser identificadas en el entorno bibliográfico.

De acuerdo a webometrics.info, el portal [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org) ocupa el puesto 1.313 entre 8.000 portales a nivel de centros de investigación en el mundo, y está entre los 18 mejores portales de Centros de Investigación de Colombia.

## Unidad de Gestión de Proyectos

Las actividades desarrolladas por la Unidad de Gestión de Proyectos de Cenicafé se concentraron en los siguientes proyectos:

**Programa Gestión Inteligente del Agua-GIA.** En el marco del Programa GIA, se trabajó en la Transferencia y Sostenibilidad. Para tal fin, se realizaron siete talleres, con un total de 84 participantes, de los equipos GIA Departamentales, Oficina Central y equipo de Investigación (Cenicafé) y FMM. De igual manera, se elaboró una matriz de estrategias que desde los diferentes planes de trabajo del Programa GIA, busca lograr la permanencia de los resultados en el tiempo. Para ello se diseñó el aplicativo “Guía para la formulación de estrategias de Transferencia y Sostenibilidad”.

Se evaluó la capacidad organizacional de los 25 grupos vinculados al Programa GIA utilizando la metodología Índice de Capacidades Organizacionales para Comunidades Cafeteras – ICOCC. Adicionalmente, se construyó un documento preliminar de publicación en el tema de Línea Base.

**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. Durante este período se han elaborado herramientas de apoyo y realizado jornadas de planeación, verificación y ajuste de actividades de los Extensionistas; se documentó el conocimiento generado sobre especies nativas utilizadas en las herramientas del manejo del paisaje y la experiencia de la implementación del modelo; finalmente se han definido análisis para medir el impacto que tendrá el proyecto en la conectividad del paisaje y en la calidad del hábitat.

**Asesoría a los Comités Departamentales en la prefactibilidad de las Centrales de Beneficio.** Con el Comité del Huila se trabajó con las disciplinas Poscosecha y Economía en el estudio de prefactibilidad para la construcción de la Central de Beneficio Asobetania en el municipio de la Argentina, Huila. Se calculó el ICOCC como elemento de decisión para preseleccionar cuatro asociaciones y/o grupos para la construcción de centrales o microcentrales de beneficio en el marco de un Proyecto financiado por la Gobernación del Huila. Para el caso del Comité del Cauca se capacitó a un equipo de profesionales en la metodología ICOCC.

## Divulgación y Transferencia

Durante la vigencia de 2016, Cenicafé publicó los Avances Técnicos 460 al 468 y la Revista Cenicafé Vol. 66 No. 2 y Vol. 67 No. 1, el libro Informe Anual de Actividades de Cenicafé del 2015, así como el Boletín Técnico No. 41 “Sombríos transitorios para el establecimiento del café”.

Durante 2016, como apoyo a la Gerencia Técnica a través del programa “Más Agronomía, Más Productividad”, los investigadores de Cenicafé han recorrido los departamentos de Quindío, Risaralda, Valle, Tolima, Huila, Caldas, Antioquia y Santander, en los cuales han capacitado a cerca de 1.000 caficultores en variedades de café mejoradas para Colombia, densidades, edades y renovación de cafetales, acidez del suelo para el cultivo de café, sanidad vegetal y manejo de arvenses. De igual manera, en el marco de este programa, en Cenicafé se realizó el Encuentro de Coordinadores de Extensión, durante los

días 6, 7 y 8 de septiembre, en los cuales se realizó la capacitación y profundización en la agronomía de la caficultura y programas de la Gerencia Técnica, para 200 profesionales del Servicio de Extensión. Así mismo, en la feria de cafés especiales “Expospeciales 2016”, celebrada entre el 5 y 8 de octubre, Cenicafé y el Servicio de Extensión integraron la ciencia y la transferencia para capacitar a más de 1.000 caficultores que asistieron al stand de la Federación Nacional de Cafeteros “Colombia, Tierra de diversidad”.

Dentro de las actividades de capacitación tanto al servicio de Extensión como los Caficultores de Colombia, se destacan tres conversatorios nacionales. El “Conversatorio sobre los Resultados en Investigaciones en Cosecha de Café”, desarrolladas por los investigadores de la Disciplina de Ingeniería Agrícola, desde 1998 hasta el 2015, realizado el 11 de diciembre al cual asistieron al Centro más de 130 personas. Además, a través del sistema de videoconferencia de la FNC asistieron caficultores y extensionistas de los 15 Comités Departamentales de Cafeteros, así como los miembros de la Gerencia Técnica, desde Oficina Central. El Conversatorio sobre “Sistemas Agroforestales con Café”, realizado el 19 de febrero, que contó con la asistencia de cerca de 80 personas a Cenicafé, como también de otros 80 participantes

de toda la institucionalidad cafetera, que siguieron el conversatorio a través del sistema de videoconferencia de la Federación Nacional de Cafeteros. Finalmente, el Conversatorio Nacional sobre broca, realizado el primero de abril de 2016, que contó con la asistencia de más de 160 personas entre caficultores y colaboradores del Servicio de Extensión.

Otra actividad de transferencia adelantada entre la Gerencia Técnica y Cenicafé fue el Día de Campo Nacional sobre Cosecha Asistida de Café, llevada a cabo el 12 de octubre, el cual tuvo como objetivo compartir con los Caficultores Colombianos los desarrollos que se tienen en cosecha asistida de café. En esta actividad de demostración se motivaron 180 cafeteros de todo el país con las tecnologías disponibles en la actualidad.

En cuanto a la atención de visitantes, entre el último trimestre del 2015 y el 2016 se recibieron 201 visitas a las instalaciones de Cenicafé, donde se atendieron 4.996 visitantes, y en las Estaciones Experimentales se recibieron 7.412 visitantes, entre los que se encuentran Caficultores, Extensionistas, el Comité de Gerencia, el Comité Directivo, colaboradores de la Federación Nacional de Cafeteros, Entidades Cooperantes, Centros de Investigación, compradores de café y periodistas, entre otros.

Cabe resaltar las visitas del Gerente General de la Federación, doctor Roberto Vélez, y su equipo asesor de Gerencia, el primero de julio de 2016, y la visita del Comité Directivo de la FNC, los días 13 y 14 de septiembre, con el fin de conocer el quehacer de Cenicafé en cada una de las Disciplinas de Investigación, así como en las investigaciones realizadas en el campo, en la Estación Experimental Naranjal.

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 encuentran las 129 actividades de capacitación de los Extensionistas de todo el país, a los cuales asistieron 3.248 colaboradores del Servicio de Extensión, desde octubre de 2015 hasta septiembre de 2016.

Durante el año 2016 se entregaron cerca de 74.517 publicaciones a los Comités de Cafeteros y colaboradores de Oficina Central. Además, se enviaron 13.206 correos informativos a los suscriptores de la página web de Cenicafé sobre nuevas publicaciones y otros temas de interés.

*Álvaro León Gaitán B.  
Director Cenicafé  
Noviembre 2016*



Disciplinas de  
investigación



# Disciplinas de investigación

## Entomología

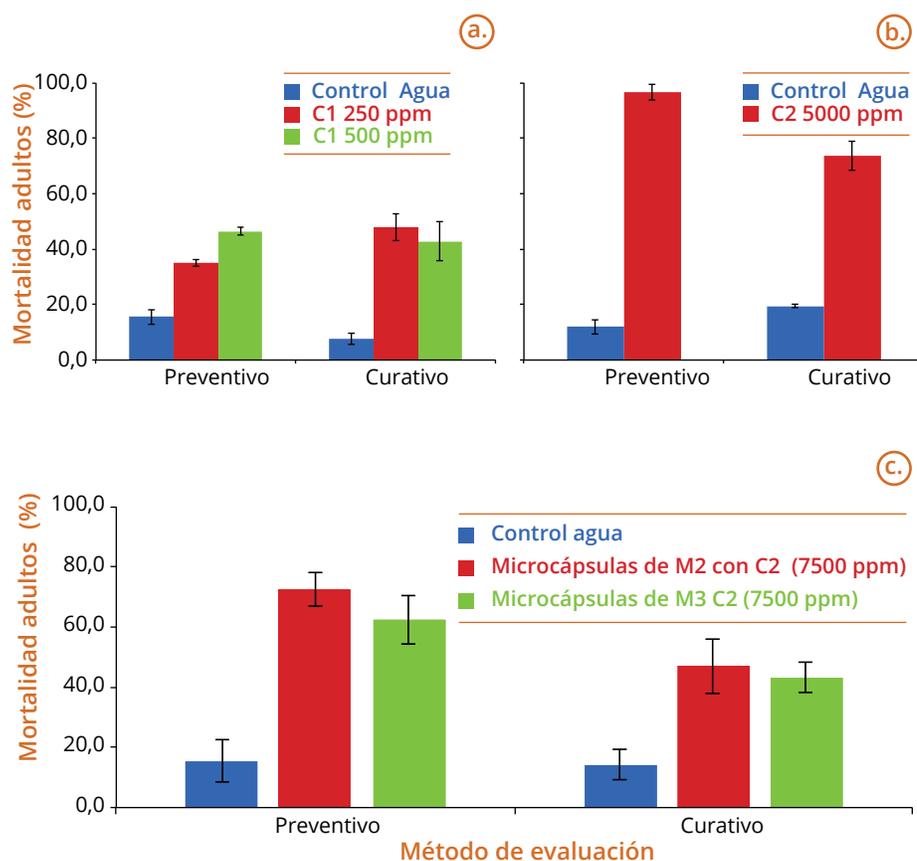
### Broca del café

**Evaluación de metabolitos secundarios y análogos microencapsulados para el control de la broca del café.** Con el propósito de desarrollar productos insecticidas biorracionales microencapsulados para el control de la broca del café en Colombia, con diferentes modos de acción, se evaluó la eficacia, repelencia y residualidad de metabolitos secundarios y análogos, mediante un convenio de investigación entre Cenicafé, Sumicol y la Universidad de Antioquia. Inicialmente, mediante pruebas de eficacia y olfatometría, se evaluaron cuatro compuestos puros que causaran mortalidad, repelencia o disminución de la capacidad reproductiva de adultos de la broca o efectos sobre la metamorfosis de los estados inmaduros. Los resultados permitieron seleccionar dos compuestos (C1 y C2) que causaron alta mortalidad sobre la broca (Figura 1a y 1b) y protegieron más del 70% de las almendras de café. Se procedió a elaborar microcápsulas con tres tipos de coraza (M1, M2 y M3), conteniendo un núcleo con el compuesto C2, las cuales



fueron evaluadas en bioensayos que permitieron establecer el efecto preventivo (aplicar y posteriormente liberar adultos de broca) y curativo (liberar adultos de broca y aplicar las microcápsulas). Los resultados permitieron establecer que las microcápsulas con las corazas M1 y M2, causaron alta mortalidad a una concentración de 7.500 ppm del compuesto C2 (Figura 1c). Adicionalmente, a través de pruebas de olfatometría en el laboratorio (Figura 2a y 2b), se identificaron dos compuestos volátiles que repelen a la broca del café, los cuales aumentan su efecto cuando se usan en mezcla (Figura 2c).

**Desarrollo de un producto natural para el control de la broca del café.** Con el propósito de desarrollar un producto natural eficaz y ambientalmente seguro para el control de la broca del café, a partir de la combinación de hongos entomopatógenos y extractos botánicos, se realizaron experimentos con el fin de determinar las interacciones entre estos extractos botánicos y una mezcla de hongo *B. bassiana*, y el efecto sobre la mortalidad de la broca del café, en condiciones de laboratorio. Se seleccionaron las mejores concentraciones de esporas y extractos para el control de la broca

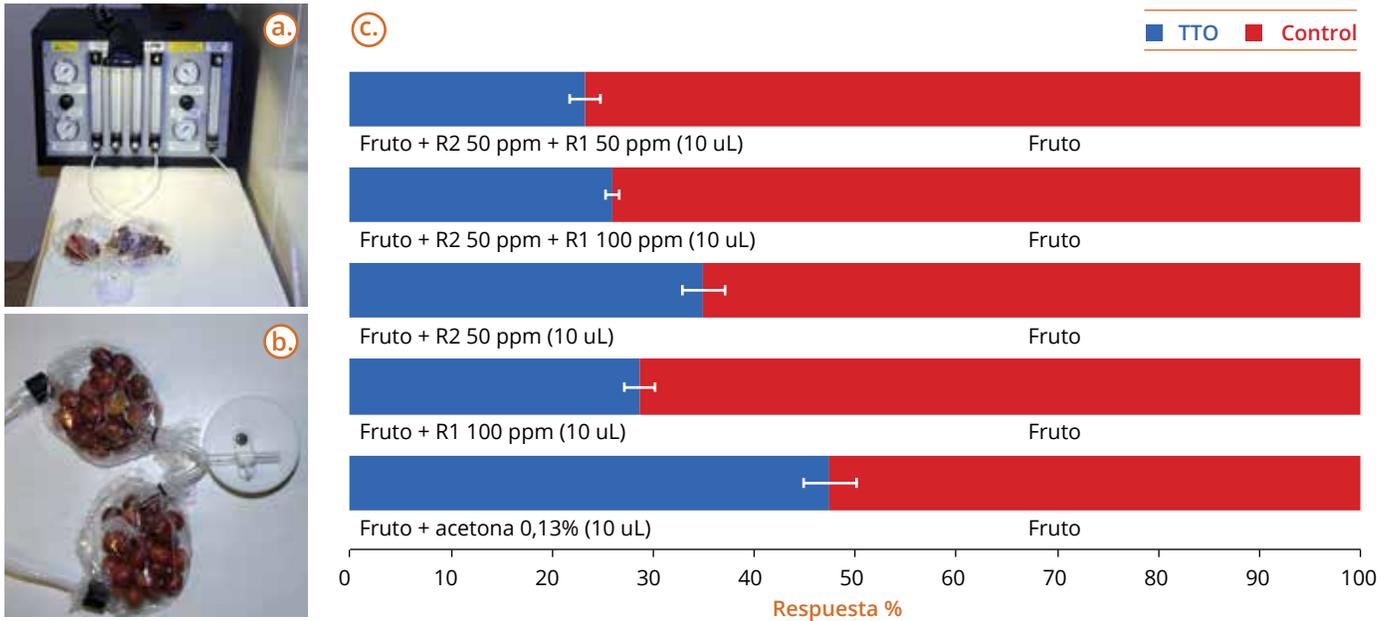


**Figura 1.** Efecto de los compuestos C1, C2 y microcápsulas de C2 sobre la mortalidad de adultos de *H. hampei*, 20 días después de la aplicación de los tratamientos sobre frutos verdes. **a.** Compuesto C1. **b.** Compuesto C2 y **c.** Microcápsulas del compuesto C2.

lote de *Coffea arabica* Variedad Castillo® en producción. Los tratamientos consistieron en T1: testigo absoluto sin plantas acompañantes; T2: una línea de *E. sonchifolia* en la parte externa del borde de la parcela y al interior 60 plantas de *L. camara* y *N. tabacum* acompañando los árboles de café, siguiendo los surcos de siembra del cultivo; T3: una bolsa con mezcla de metanol:etanol sobre las plantas del borde, en los troncos de cada árbol, y en el rectángulo interior se sembraron las mismas plantas que en T2. Las parcelas estaban conformadas por 150 plantas de café, distribuidas en un rectángulo de 15 x 10 plantas, hacia el interior del borde se dejó un rectángulo de 13 x 8 plantas para separar entre plantas del borde y el interior de los arreglos. Se comparó el porcentaje de infestación al interior de las parcelas con respecto al borde y frente al control absoluto. Se encontró efecto de bloque, indicando la importancia de establecer las plantas acompañantes antes de la segunda cosecha, para repeler la llegada de la broca al cafetal. Se evidenció el efecto de las plantas repelentes con respecto al control, durante el período crítico de la broca (desde mediados de abril hasta finales de mayo), con una reducción en promedio del 7% de infestación (Figura 3). Se corroboró el efecto atrayente de la mezcla de alcoholes, pero no hubo efecto atrayente en *E. sonchifolia*. Con respecto al diseño, se encontraron diferencias de infestación entre el borde y el interior de la parcela, con un promedio de 4,9% durante el período crítico (Figura 4), este efecto se le

y se identificó una cepa del hongo que es más compatible con uno de los extractos seleccionados. Estos resultados permiten presentar el primer prototipo de Producto Natural para el control de la broca, el cual será evaluado en torre de potter y condiciones controladas de campo.

**Evaluación de volátiles y plantas atrayentes y repelentes para el control 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 del campo, donde se determinó la repelencia de la broca a frutos de café acompañados por plantas de *Nicotiana tabacum* y *Lantana camara*, y la preferencia de la broca a frutos de café acompañados por *Emilia sonchifolia*. Para validar este comportamiento en el campo, se evaluó la repelencia de *N. tabacum* y *L. camara* y la atracción de *E. sonchifolia* bajo una estrategia agroecológica que combina la atracción y repulsión con plantas acompañantes en el cafetal. Se evaluaron tres tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar en la Estación Experimental Naranjal, en un

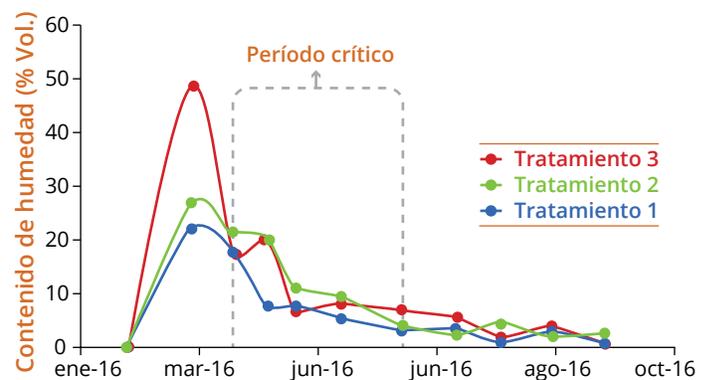


**Figura 2.** a. Olfatómetro de dos brazos; b. Brazos con frutos de café para las evaluaciones; c. Gráfica de la evaluación por olfatometría de la preferencia de la broca del café por frutos de café vs. frutos de café + tratamiento. Se evaluaron poblaciones de 50 individuos por tratamiento, con tres repeticiones.

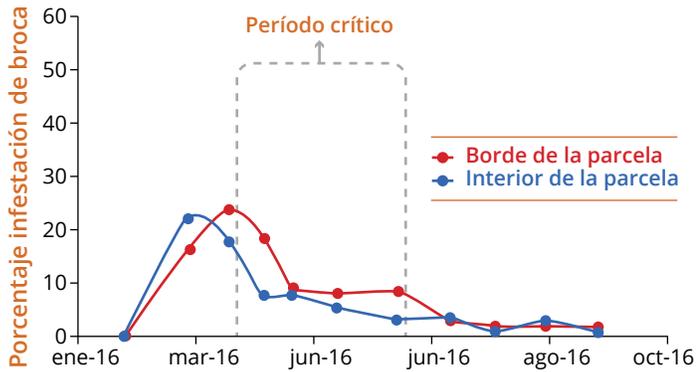
atribuye solo a las plantas repelentes. Esta es una primera exploración de una estrategia de manejo de la broca del café por medio de la utilización de plantas repelentes que acompañan el cafetal.

**Caracterización del comportamiento de la broca del café en diferentes altitudes.** Con el objetivo de relacionar las variables del clima con el comportamiento de las plagas del café, se evaluó la dinámica poblacional de la broca del café en cinco perfiles altitudinales entre 1.132 y 1.822 m, en la cuenca del río Risaralda (Caldas), ubicada en la vertiente Oriental de la cordillera Occidental. Entre los meses de marzo de 2015 y marzo de 2016 se presentó un evento climático El Niño intenso, de tal manera que se reportó un incremento en la temperatura de hasta 3°C por encima del promedio de los registros de los últimos tres años, intensificado en diciembre de 2015 y marzo de 2016. Se registró afectación del café con granos averanados y por broca, con su consecuente impacto económico. La reproducción de la broca del café alcanzó densidades poblacionales de hasta 6.912 individuos por árbol y un máximo de infestación de 81%, en enero de 2016, en la menor altitud (1.132 m) (Figura 5). Se registraron capturas masivas de broca en trampas de alcohol de hasta 529.000 y 337.500

adultos en 20 trampas, en las localidades a 1.132 m y 1.331 m (Figura 6). Estos vuelos masivos y los altos niveles de infestación de broca se presentaron en los meses más secos y calientes, superiores a 2°C durante varios meses en aguas del océano Pacífico tropical. Estos resultados permiten fundamentar las alertas tempranas de broca que se emiten periódicamente con los diagnósticos nacionales de broca. Las



**Figura 3.** Porcentaje de infestación al interior de la parcela de cada tratamiento. Tratamiento 1 hace referencia al control, tratamiento 2 a las plantas acompañantes repelentes en el interior y tratamiento 3 a la mezcla de alcohol, ubicadas en el borde y plantas repelentes al interior.

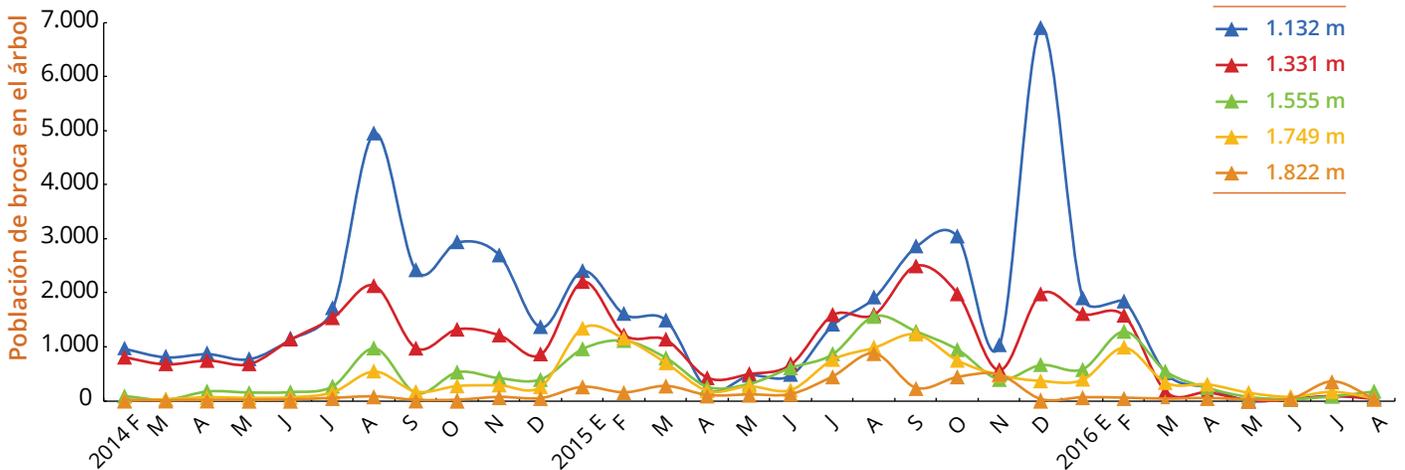


**Figura 4.** Porcentaje de infestación de broca entre el borde y al interior de la parcela del diseño de atracción y repelencia. *L. camara* y *N. tabacum*.

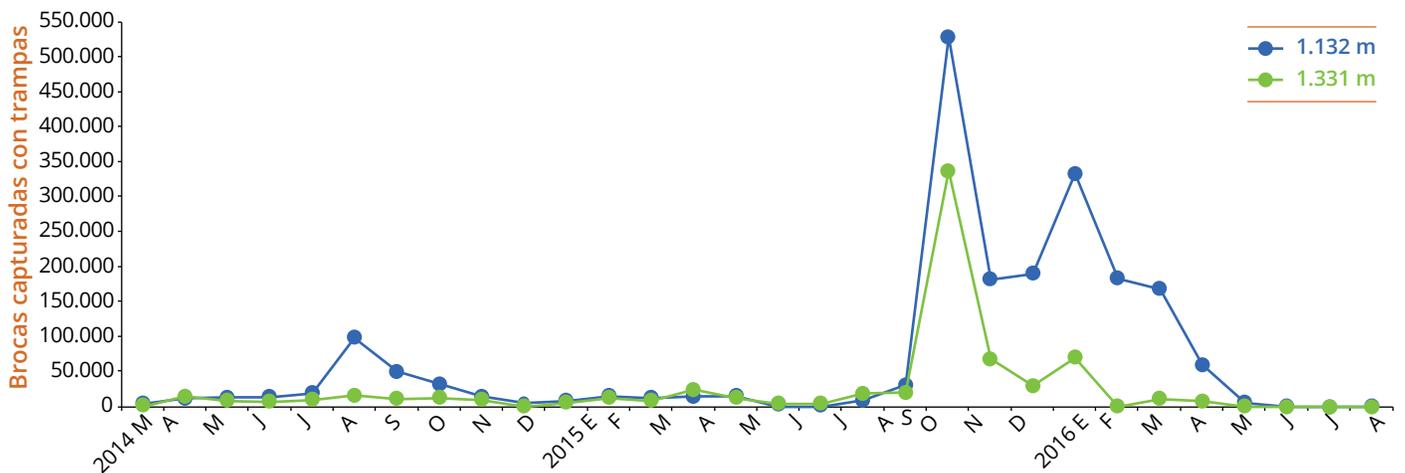
observaciones de campo permitieron cuantificar una epizootia natural causada por *Beauveria bassiana* sobre la broca, en todas las localidades del estudio, con mortalidades superiores al 95% a partir del mes de abril hasta agosto de 2016, con la llegada de las lluvias y la culminación del fenómeno El Niño, en el mes de marzo (Figura 7).

**Evaluación de la capacidad depredadora de *Ahasverus advena* y *Cathartus quadricollis* sobre la broca del café *Hypothenemus hampei*.**

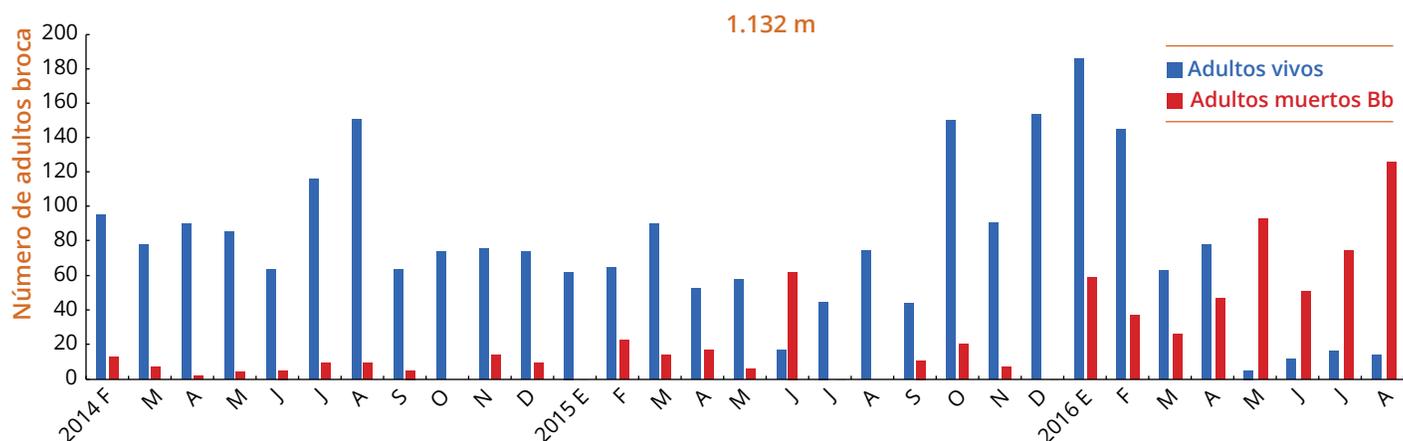
En Colombia se han reportado depredadores nativos que podrían controlar las poblaciones de la broca en el interior de los frutos que quedan después de la cosecha. Sobresalen *Ahasverus*



**Figura 5.** Densidad poblacional de la broca del café por rango altitudinal, a través del tiempo.



**Figura 6.** Número de brocas capturadas con trampas de alcohol, a través del tiempo, en dos altitudes.



**Figura 7.** Epizootia natural causada por el hongo *Beauveria bassiana* y su efecto en el control de las poblaciones de broca.

*advena* y *Cathartus quadricollis* por su abundancia. Con el fin de evaluar la depredación de estas dos especies sobre la broca, se realizaron cuatro bioensayos, en condiciones de laboratorio, donde se conformaron unidades experimentales con diez almendras de café infestadas con broca, durante 20 días, contenidas en un recipiente de vidrio, en los cuales se liberaron los depredadores de cada especie en estado de larva y adulto, en las proporciones: 1, 3 y 5 depredadores por grano (Figura 8). Se utilizó un testigo absoluto sin depredadores. Se empleó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y diez repeticiones, evaluando el número de estados vivos de broca, 10 días después de la liberación de los 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 en todos los bioensayos. Tanto las larvas como los adultos de *Ahasverus advena* disminuyeron significativamente hasta 63% los estados vivos de broca con respecto al testigo



**Figura 8.** *Cathartus quadricollis* depredando broca en granos brocados. a. adulto; b. Larva.

(Figura 9 y 10). La proporción más eficaz fue de tres individuos de *A. advena* por grano brocado. Los adultos y las larvas de *C. quadricollis* lograron una reducción significativa de broca de hasta 69% de estados vivos de broca con respecto al testigo (Figura 11). La proporción más eficaz para esta especie fue de tres adultos y cinco larvas del depredador por grano. Estas dos especies son potenciales controladores biológicos para ser incluidas en el programa de manejo integrado de la broca del café.

**Evaluación de la capacidad depredadora de hormigas sobre la broca en el campo.** Con el fin de evaluar la depredación de broca por hormigas arbóreas, se establecieron ensayos preliminares en dos Estaciones Experimentales: Paraguaicito y La Trinidad, donde se instalaron mallas de anejo plástica, con diez almendras de café infestadas con broca, durante 20 días, amarradas del tallo principal de diez árboles de café productivos, de cuatro años, con presencia de nidos activos de tres especies de hormigas: *Solenopsis picea*, *Tapinoma melanocephalum* y *Crematogaster crinosa*. Se tuvieron diez árboles excluidos en cada Estación como testigos. Una vez colgadas las almendras infestadas se evaluó el número de estados de broca vivos a las 24 h. Se observaron disminuciones significativas de los estados de broca vivos entre los árboles con hormigas y los

excluidos. *S. picea* fue la especie que mayor cantidad de estados de broca depredó, ya que entró a los granos y retiró hasta 84,5% de la broca con respecto al testigo (Figura 12). Siguieron en capacidad depredadora *T. melanocephalum* y *C. crinosa* con 48,4% y 40,7% de disminución de broca, respectivamente. La especie de hormiga más abundante y dominante fue *S. picea*, con un promedio de adultos de  $25,9 \pm 14,2$  individuos dentro de los granos infestados, comparado con *T. melanocephalum* de  $3 \pm 0,6$  y ninguno de *C.*

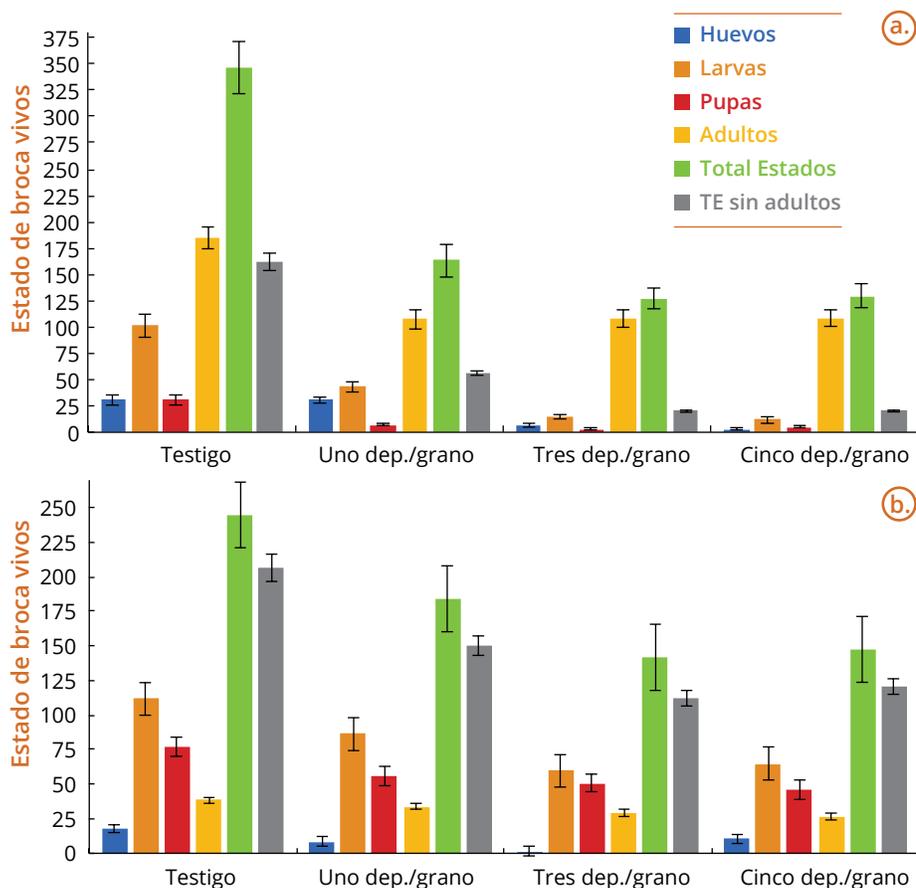
*crinosa*. *Crematogaster* por su tamaño corporal no fue capaz de penetrar a los granos de café brocados y solo depreda brocas que se encuentran en posición de penetración. *Solenopsis picea* (Figura 13), es la especie con mayor potencial para ser incluida en un programa de manejo integrado de la broca del café.



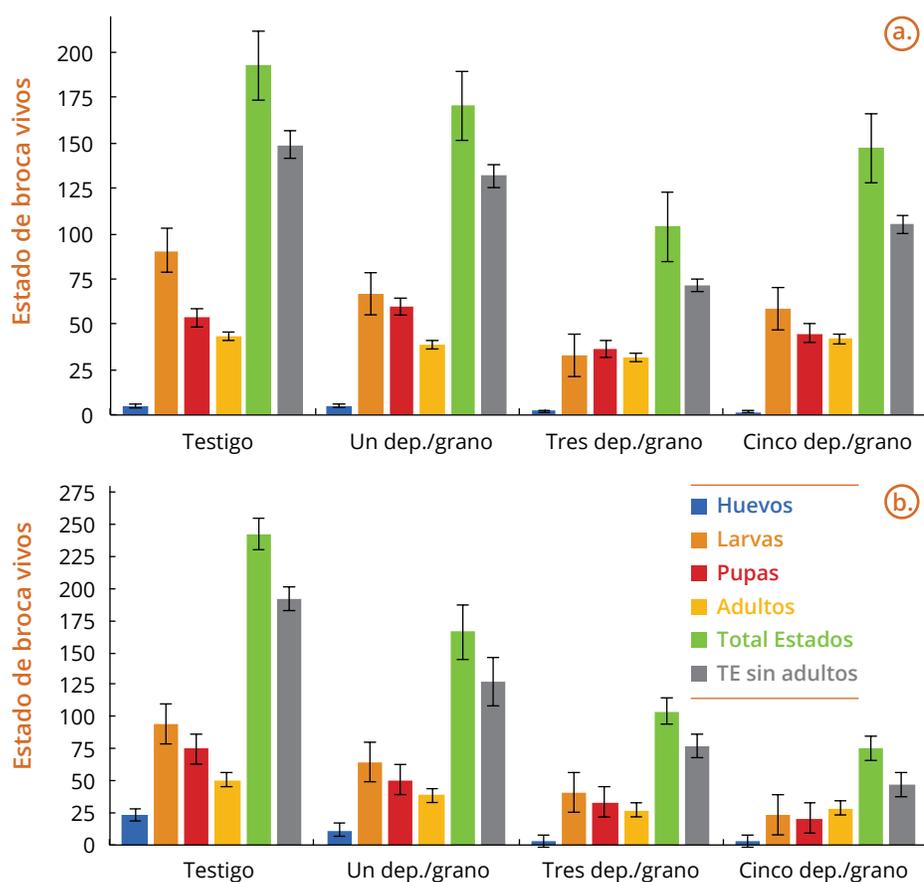
**Figura 9.** Adultos de broca depredados por *Ahasverus advena*, mostrando el contenido interno del cuerpo consumido.

**Evaluación de dispositivos recolectores de frutos caídos al suelo para el manejo de la broca del café.**

Con el objetivo de contribuir al manejo integrado de la broca del café, se evaluaron dos dispositivos de recolección de frutos del suelo: una aspiradora motorizada de espalda y la canastilla de accionamiento manual, en 15 lotes, en seis localidades. Cada lote se dividió en tres partes iguales, con igual número de árboles, donde se evaluaron tres tratamientos: T1 recolección de frutos del suelo con canastilla, T2 recolección de frutos del suelo con aspiradora motorizada (Figura 14) y T3 testigo sin recolección. Se recolectaron los frutos caídos al suelo después del último pase de cosecha de mitaca del año 2016 y se evaluó la infestación por broca en 30 árboles de café, durante el pico de cosecha principal del año 2016. La eficacia de recolección de frutos del suelo osciló entre un 86% y 67% con la canastilla y entre 79,5% y 36,0% con el equipo motorizado de espalda. Con respecto al tiempo para la recolección, la canastilla requiere en promedio 15,8 s/árbol y la aspiradora 42 s, es decir, el costo de usar la canastilla sería ostensiblemente menor que con el equipo motorizado. Se



**Figura 10.** Número de estados de broca vivos (promedio y error estándar) con la liberación de uno, tres y cinco individuos de *Ahasverus advena* y el testigo, después de 10 días (n=10). **a.** Adultos de *A. advena*; **b.** Larvas de *A. advena*.

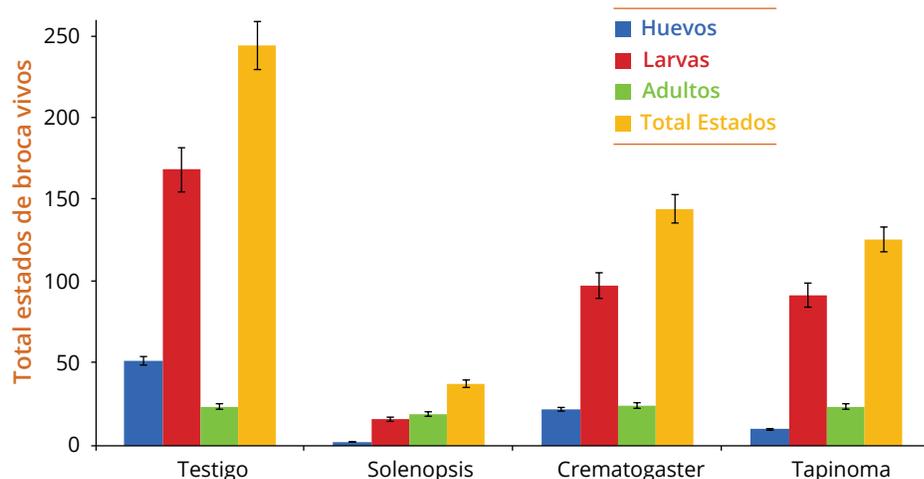


maternas: CU1842, CX2385 y CX2848, los parentales etíopes: E286 y E554 y los cruzamientos: CX2848xE554, CU1842xE286, CU1842xE554, CX2385xE554, CX2385xE286. En éstas se realizaron infestaciones artificiales en cinco a diez árboles por genotipo, escogiendo una rama productiva por árbol, en las ramas se dejaron 50 frutos de 120 días de desarrollo. Los frutos fueron infestados por 100 brocas y luego de 60 días se disecaron, y se determinó la población de brocas en los 250 frutos por genotipo. Esto se realizó durante los años 2015 y 2016. Los resultados indican que existen al menos dos cruzamientos en los que la población de brocas es significativamente menor que los genotipos más susceptibles y los parentales maternos (Figura 16). Es así como en el cruzamiento CX2385xE554 se observa una disminución de 60% en la población con respecto a las líneas más susceptibles y de 20% con respecto a la línea materna CX2385; de este material se cuenta con tejido embriogénico

**Figura 11.** P Número de estados de broca vivos (promedio y error estándar) con la liberación de uno, tres y cinco individuos de *Cathartus quadricollis* de uno, tres, y cinco por grano (tratamientos) y el testigo, después de 10 días (n=10). a. Adultos; b. Larvas.

retiraron hasta 731.400 brocas en los lotes experimentales y se disminuyeron los niveles de broca durante la cosecha principal con la actividad de recolección de frutos del suelo (Figura 15).

**Determinación de la susceptibilidad a la broca y generación *in vitro* de plantas híbridas de cruzamientos de *C. arabica* Variedad Castillo® x *C. arabica* Etíope.** Para la evaluación de la susceptibilidad a la broca, se escogieron las plantas ya sembradas en el campo, con 4 años de edad, correspondiente a las líneas



**Figura 12.** Número de estados de broca vivos con presencia de *Solenopsis picea*, *Crematogaster crinosa* y *Tapinoma melanocephalum* y testigo (Promedios ± error estándar), después de 24 h de exposición (n=10).

en regeneración y 40 plantas *in vitro*. Adicionalmente, en la línea CU1842xE286 se observa una disminución en la población de broca con respecto a la línea CU1842 alrededor de 40%, y con respecto a los genotipos más susceptibles de 60%, siendo éste el cruzamiento que menor población de brocas presentó en el experimento; se tiene tejido embriogénico en regeneración y 75 plantas *in vitro* de este material.



**Figura 13.** *Solenopsis picea* depredando estados de broca en frutos y granos de café en el campo.

Se evaluó la capacidad embriogénica y susceptibilidad a la broca del café de híbridos producto de los cruzamientos de tres líneas *C. arabica* Variedad Castillo® x diez líneas *C. arabica* Etiópes en la Estación Experimental Naranjal. Para evaluar la capacidad embriogénica a partir de explantes de hojas, se han realizado siembras durante tres años de todos los materiales. Las plantas provenientes de las madres CX2848 (ocho líneas híbridas) muestran 100% de regeneración y se han regenerado 875 plantas. Le sigue en capacidad de regeneración las líneas de los cruzamientos con la madre CX2385 (17 líneas híbridas) con 88% de regeneración y se tienen 488 plantas. Con respecto a los materiales provenientes de las plantas madre CU1842, de 15 cruzamientos sembrados se ha regenerado el 60%, se tienen de estos

cruzamientos 258 plantas. Estas plantas *in vitro* serán llevadas a invernadero y posteriormente al campo para evaluar su desempeño agronómico y susceptibilidad a la broca.

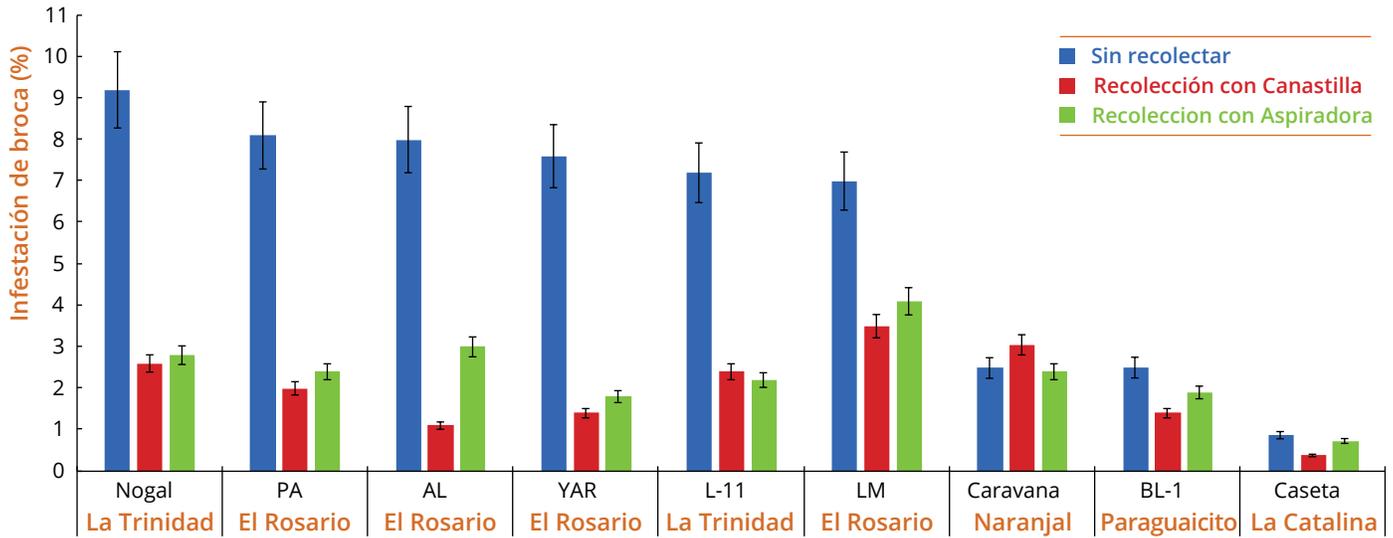
## Cochinillas de las raíces del café

**Control biológico de cochinillas de las raíces del café con hongos entomopatógenos.** Se evaluaron hongos entomopatógenos para el control de *Puto barberi* en plantas de almácigo infestadas con cinco hembras oviplenas, con 60 días de reproducción. Se evaluó el efecto de la aplicación de 1. *Metarhizium anisopliae*, 2. *Metarhizium robertsii* y 3. Agua. Para esto, se produjeron esporas de los hongos en arroz y se aplicaron 50 cm<sup>3</sup> de una solución, con concentraciones de 2x10<sup>10</sup> esporas/L en 50 plantas por tratamiento. A los 20 días se registraron las plantas con insectos y el número de ellos por planta. Los resultados mostraron una infestación del 100% en las plantas tratadas con agua, con un promedio de 25 cochinillas por planta. Las aplicaciones de *Metarhizium* difirieron del testigo, en una prueba *t* al 5%. *M. anisopliae* disminuyó en 10% la infestación de cochinillas y la población de cochinillas en 55%. *M. robertsii* disminuyó la infestación en 40% y la población de insectos en 86% (Figura 17). *M. robertsii* se convierte en un candidato potencial en el control de *P. barberi* en almácigos de café y en el campo.

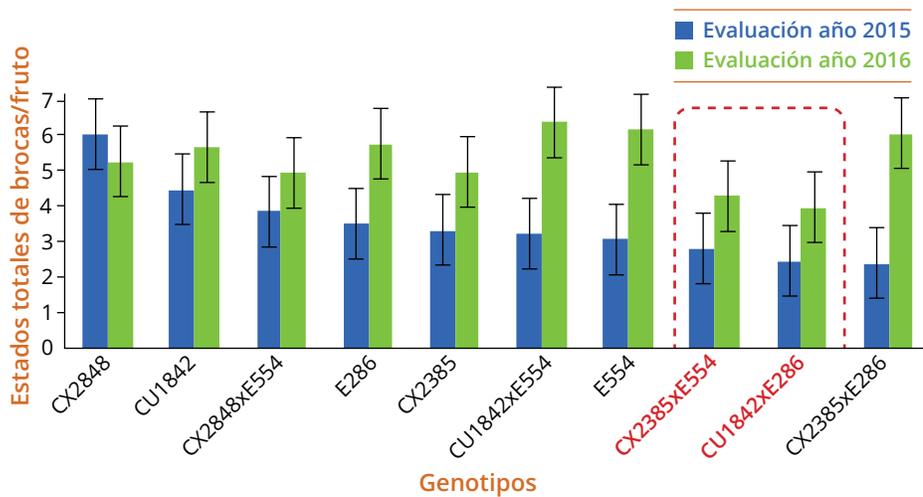


**Figura 14.** Recolección de frutos de café del suelo con aspiradora motorizada de espalda y con canastilla.

**Identificación de especies de cochinillas de la rizosfera del café y validación de estrategias de manejo integrado mediante Investigación Participativa con Agricultores.** Con el propósito de conocer la situación actual de las cochinillas de las raíces del café en Colombia, mediante un



**Figura 15.** Porcentajes de infestación de la broca del café después de realizado el repase con aspiradora motorizada de espalda y con canastilla, en las parcelas experimentales.

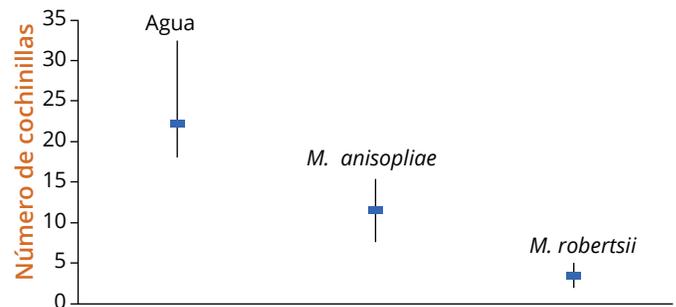


**Figura 16.** Susceptibilidad de genotipos de los cruzamientos Híbridos de Variedad Castillo® x Etiopes a la broca del café.

fincas con cafetales infestados superó el 70% en todos los departamentos evaluados (Figura 18) y el porcentaje de los árboles evaluados con presencia de cochinillas en las raíces estuvo entre 41,54% y 67,40% (Figura 19).

Adicionalmente, se reporta a la escama *Toumeyella coffeae* en todos los departamentos evaluados, es decir, esta especie nueva para la ciencia no es exclusiva de Norte de Santander (Figura 20). Se reportan

Convenio de Investigación entre Cenicafé y la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, se realizaron diagnósticos en los departamentos de Antioquia, Caldas, Cauca, Quindío y Risaralda. Éste se realizó en 100 fincas con lotes menores a dos años de edad, seleccionadas aleatoriamente del Sistema de Información Cafetera (SICA). Se capacitó a la totalidad de los Extensionistas en cada departamento, quienes posteriormente visitaron las fincas, reconocieron los daños causados por las cochinillas y recolectaron los insectos asociados con las raíces del café. Los resultados muestran que el porcentaje de



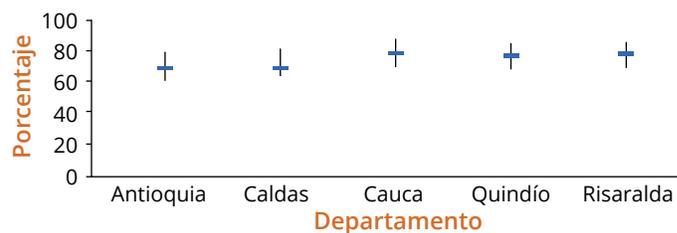
**Figura 17.** Número de cochinillas de las raíces del café tratadas con agua y dos especies de *Metarhizium*, en plantas de almacigo.

aumentos del ataque de una especie de *Dysmicoccus* sp. que se enquista en las raíces, posiblemente *D. texensis* (Figura 21).

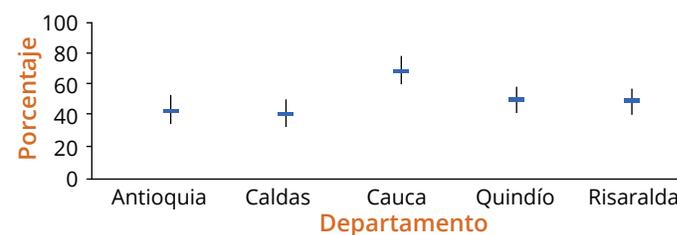
Con el fin de entregar recomendaciones validadas de manejo de las cochinillas de las raíces del café, se montaron parcelas demostrativas en cinco fincas de los departamentos de Valle del Cauca y Norte de Santander. Los resultados permitieron corroborar que es posible controlar esta plaga en siembras nuevas usando plantas indicadoras, en plantaciones menores de 12 meses y realizando siembras escalonadas, con un máximo de cuatro aplicaciones de insecticidas al año (Figuras 22, 23 y 24), rotando los productos Silex 0,3 g/planta y Verdadero®, en una dosis de 0,031 g/planta, con un volumen de descarga de 100 cm<sup>3</sup> de mezcla por planta, en suelos lo suficientemente húmedos. La situación de los cafetales antes del inicio de las investigaciones participativas y posterior a un año de establecido el manejo integrado (Figuras 25 y 26), validan el éxito de las estrategias evaluadas y permitirán aumentar la rentabilidad de los caficultores colombianos.

## Chinche de la chamusquina del café

**Cría de enemigos naturales para el control de la chinche de la chamusquina del café en el laboratorio.** Se estandarizó una metodología de cría de *Galleria mellonella* para la producción de la chinche asesina *Zelus* sp. (Hemiptera: Reduviidae), controlador natural de *Monalonion velezangeli*. Esta investigación se realizó en el laboratorio a  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  y  $80 \pm 2$  HR. Con este procedimiento se logró conocer la biología de *Zelus* sp., donde la duración promedio de los estados de desarrollo fue: huevo  $21,36 \pm 0,71$ ; ninfa  $46,09 \pm 1$  días, pasando por cinco instares ninfales. La duración de huevo hasta adulto fue de  $67,45 \pm 0,71$  días. Una hembra reproductora depositó en promedio 3,25 masas de huevos y el promedio de huevos por masa fue de  $58,8 \pm 8,4$ . Las ninfas comenzaron a depredar a los dos días de la emergencia, pudiendo atrapar las presas con las patas anteriores desde ese momento hasta el estado adulto. También se reportó un parasitoide de *Zelus* sp. perteneciente al Orden Diptera, de la familia Scatopsidae (Figura 27); este hallazgo deberá ser considerado al establecer una estrategia de control biológico por aumentación, usando *Zelus* sp. como depredador en el campo.



**Figura 18.** Porcentaje de fincas por departamento con presencia de cochinillas en las raíces del café.



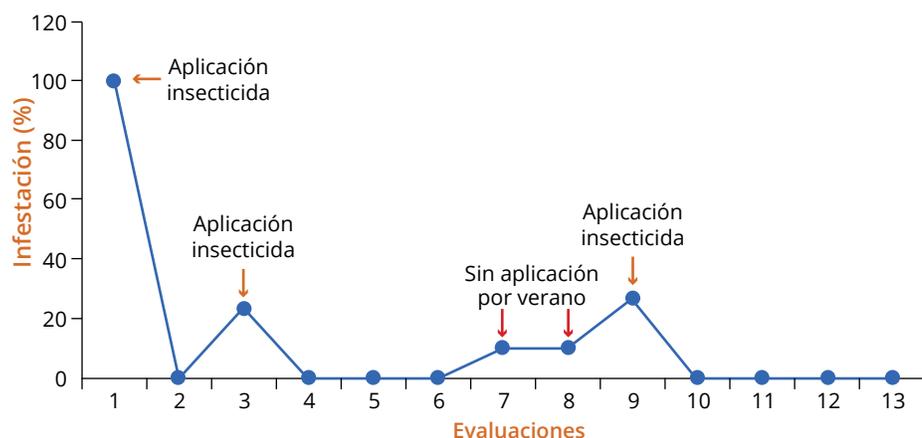
**Figura 19.** Porcentaje de árboles con presencia de cochinillas de las raíces del café, en cada uno de los departamentos evaluados.



**Figura 20.** Ataque de la escama *Toumeyella coffeae* en raíces de árboles de café, de 18 meses de edad.



**Figura 21.** a. Ataque de la cochinilla *Dysmicoccus* pos. *texensis*, en raíces del café; b. Colonias de la cochinilla dentro de la estructura del hongo simbionte.

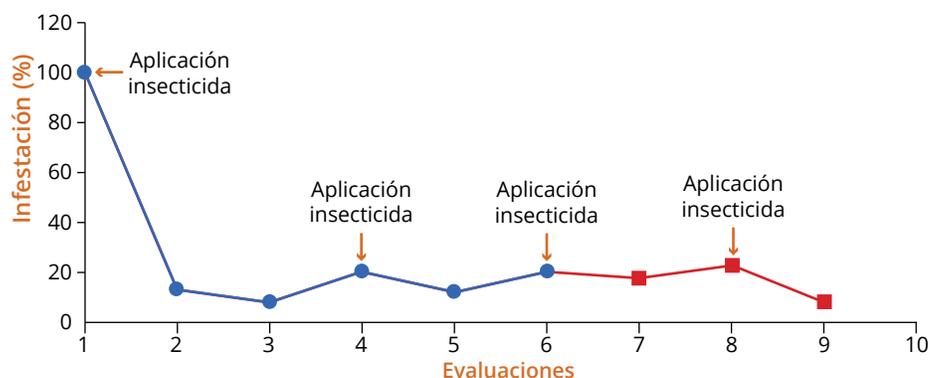


**Figura 22.** Porcentaje de infestación y número de aplicaciones realizadas en la estrategia de manejo integrado de cochinillas de las raíces, en un cafetal menor a un año (Valle del Cauca).

de fosfatos y se cuenta con un total de 64 cepas. Con respecto a las cepas de *B. bassiana*, se introdujeron ocho nuevas cepas y en total se cuenta con 132 cepas, mantenidas en los tres métodos de preservación. Es posible la preservación de esta especie hasta por 52 meses con germinaciones promedio de 80%. *Metarhizium* sp. cuenta con 26 aislamientos y deben ser reactivadas al menos cada 2 años. Este año se utilizaron *M. acridium*, *M. robertsii* y *M. anisopliae* (Ma9236) para el control de insectos en café. *M. acridium* resultó efectiva en el control de saltamontes que atacan café, mientras que *M. robertsii* afecta significativamente las cochinillas del café (Figura 28).

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

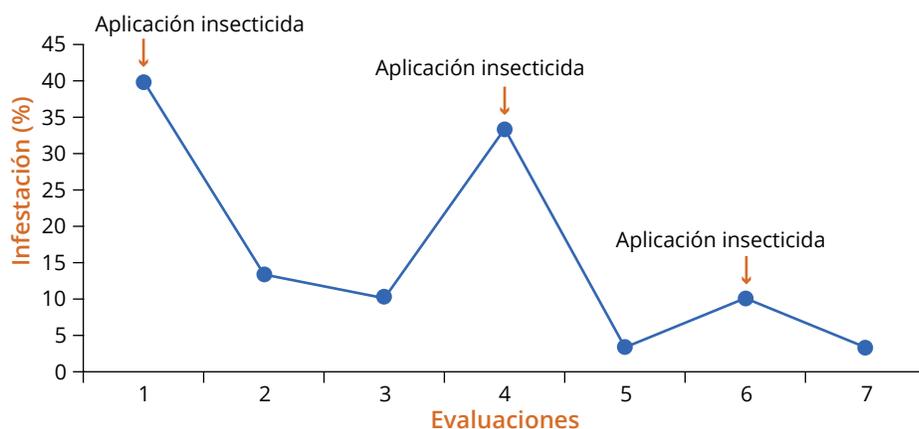
Se introdujeron 135 nuevos registros a la base de datos del Museo Entomológico "Marcial Benavides" de Cenicafé, correspondientes a insectos plaga y benéficos de la zona cafetera del país. Se realizaron visitas a fincas y se recibieron consultas de caficultores a través del Servicio de Extensión de Antioquia, Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima, Norte de Santander, Huila y Nariño, para el diagnóstico fitosanitario de insectos plagas emergentes en el cultivo del café y para dar las recomendaciones de manejo. Como resultado se tienen cinco nuevos registros de insectos fitófagos en el cultivo de café en Colombia, correspondientes al gusano trozador de los almácigos *Spodoptera latifascia* (Lepidoptera: Noctuidae), en los municipios de Chinchiná y Palestina (Caldas). La polilla



**Figura 23.** Porcentaje de infestación y número de aplicaciones realizadas en la estrategia de manejo integrado de cochinillas de las raíces en un cafetal con resiembra escalonada (Valle del Cauca).

**Actividad de mantenimiento y caracterización del cepario de hongos de Cenicafé.** Actualmente el cepario de Cenicafé cuenta con 297 aislamientos de hongos entomopatógenos, fitopatógenos y hongos posibles solubilizadores de fosfatos del suelo, preservados en tres métodos: nitrógeno líquido, glicerol-20°C y PDA con aceite mineral. En la actividad de mantenimiento se evaluaron 20 cepas del género *Paecilomyces* sp., comprobando que pueden almacenarse por períodos de hasta 4 años en los tres métodos. Se evaluaron seis cepas de *Lecanicillium* sp., mostrando viabilidad del 100% a los 28 meses, y disminución al 60% a los 48 meses. *Colletotrichum* sp. no mostró viabilidad en glicerol, por lo que se preserva en nitrógeno líquido, aunque luego de 15 meses disminuye la viabilidad a 55%. El método de almacenamiento en agua continúa siendo el más efectivo, ya que se han encontrado viabilidades de entre 50% y 70%, entre 25 y 30 meses. Se almacenaron nueve cepas de hongos solubilizadores

india de la harina *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae), consumiendo café seco y dañado en bodegas (Figura 29); el gusano encartuchador de las hojas del cafeto *Gononiota melobathes* (Lepidoptera: Oecophoridae), en los municipios de Chinchiná, Belalcazar y Anserma (Caldas), especie que ya se tenía reportada pero que no había sido identificada a nivel de especie; el gusano cachón *Perigonia lusca* (Lepidoptera: Sphingidae), consumiendo follaje de café en los municipios de Calarcá y Montenegro (Quindío); el gusano *Eacles imperialis* (Lepidoptera: Saturniidae), alimentándose de follaje de café en Líbano (Tolima) y en Armenia (Quindío); el gusano de cristal *Acraga* sp. (Lepidoptera: Dalceridae) especie no determinada, hallada consumiendo follaje de café en Norte de Santander; brotes de gusano de la corteza *Acrolophus* sp. (Lepidoptera: Acrolophidae) en Yolombó (Antioquia), siendo éste el segundo registro para Colombia; ataques de gusano biringo *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae), anillando tallos en resiembras de café en la Estación Experimental Paraguaicito (Quindío); ataques del gusano



**Figura 24.** Porcentaje de infestación y número de aplicaciones realizadas en la estrategia de manejo integrado de cochinillas de las raíces en una siembra nueva con plantas indicadoras (Norte de Santander).



**Figura 25.** a. Cafetal antes de la implementación de la estrategia de manejo integrado de cochinillas en resiembra escalonada; b. Cafetal 12 meses después de la implementación de la estrategia de manejo integrado de cochinillas.

gregario *Hypanthria* sp. (Lepidoptera: Arctiidae) en follaje de café en Santa Bárbara (Antioquia).

Igualmente, se hizo seguimiento, por segundo año consecutivo, a los ataques del saltamontes *Balachowskyacris* sp. (Orthoptera: Acrididae) en el municipio de Concordia (Antioquia).

Se hicieron pruebas de patogenicidad en el laboratorio con una cepa específica del hongo *Metarrhizium anisopliae* var. *Acridium* (Figura 30), logrando porcentajes de mortalidad del 100% a una concentración de  $2 \times 10^{10}$  esporas/mL, 3 días después de la inoculación de los saltamontes.



**Figura 26.** a. Cafetal antes de la implementación de la estrategia de manejo integrado de cochinillas; b. En siembra nueva con plantas indicadoras y 12 meses después. Obsérvense las plantas indicadoras en las calles.



**Figura 27.** Moscas adultas emergiendo de una postura de *Zelus* sp., proveniente del campo.



**Figura 28.** Desarrollo de las esporas de *Metarhizium acridium* y *M. robertsii* usando como sustrato arroz cocinado, para ser utilizado en el control de saltamontes atacando café y cochinitas del café, respectivamente.



**Figura 29.** Larva y adultos en cópula de *Plodia interpunctella*, perforando frutos secos de café.



**Figura 30.** Pruebas de patogenicidad en el laboratorio, con el hongo *Metarrhizium anisopliae* var. *Acridum*, sobre ninfas del saltamontes de Concordia (Antioquia).

## Fitopatología

**Monitoreo de roya.** Se continúa con la evaluación de la incidencia de roya en 125 genotipos de café derivados de cruzamientos de la variedad Caturra por el Híbrido de Timor, con diferente segregación para la roya, además de 53 plantas derivadas de diferentes introducciones del Híbrido de Timor y cinco diferenciales del Centro de Investigación de las Royas del Café-CIFC, en Portugal. El Híbrido de Timor 1343, fue parental de las progenies que conforman la variedad Colombia y la Variedad Castillo®, con resistencia completa e incompleta a la roya y genes de resistencia a la enfermedad de las cerezas del cafeto-CBD. Se analizaron las evaluaciones realizadas desde el 2006 al 2016 en las Estaciones Experimentales La Catalina (Pereira, Risaralda), Paraguaicito (Buenavista, Quindío), La Trinidad (Líbano, Tolima), Naranjal (Chinchiná, Caldas) y en el sector La Granja de Cenicafé (Manizales, Caldas). Se determinó el avance de la infección 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 fueron infectadas inicialmente. Se observa la interacción de estas plantas con el ambiente en donde están sembradas, y a su vez con las variantes de la roya que progresivamente se están adaptando a ellas. El Fenómeno de La Niña y la ola invernal del 2008-2009 facilitaron el



incremento de razas de la roya que están infectando un mayor número de genotipos a partir del 2011 y 2012, alcanzando los valores más altos a partir del 2014 y 2015, lo cual continúa. Este incremento fue más notorio en Paraguaicito (Figura 31) y La Catalina, seguido por El Rosario y con menor avance en La Trinidad. En los materiales del Híbrido de Timor sembrados en la Estación Naranjal, aún el 28% de ellos no registran roya, el 34% presenta alta resistencia incompleta, y el 23% muestra resistencia incompleta media a baja. Los diferenciales del CIFC confirman la presencia de nuevas razas desconocidas en más localidades diferentes a la Estación Naranjal.

Dentro de los estudios sobre modelamiento y pronóstico de ocurrencia de epidemias de roya en la zona cafetera, se ha avanzado en el desarrollo del Índice Compuesto de Infección de Roya (ICIR) en el sistema de alertas tempranas oportunas para la toma de decisiones. Este

ICIR fue desarrollado con el objetivo de analizar, en tiempo real y de una forma detallada, los patrones de favorabilidad climática bajo un tiempo determinado y su relación con el comportamiento de la enfermedad en el campo. El índice permite identificar zonas en las que por sus condiciones climáticas históricas, se presentan índices de baja o alta prevalencia de la enfermedad, utilizando series de tiempo de los últimos 28 días en registros diarios, provenientes de la Red Climática de la Federación de Cafeteros y Cenicafé, para determinar por medio de un rango, la favorabilidad de las condiciones climáticas en el desarrollo de la enfermedad y, por ende, la generación de una alerta. Con el objetivo de incrementar la eficacia y la eficiencia en la generación de las alertas generadas por el índice, éste se articuló con un sistema de información geográfica perteneciente a la plataforma ArcGis®, para realizar un análisis espacial de los datos

INCIDENCIA (%)	2006	Diciembre 2007	Junio 2008	Agosto 2008	Diciembre 2008	Marzo 2009	Agosto 2009	Diciembre 2009	Mayo 2010	Agosto 2010	Diciembre 2010	Mayo 2011	Septiembre 2011	Diciembre 2012	Mayo 2012	Agosto 2012	Diciembre 2012	Abril 2013	Octubre 2013	Marzo 2014	Septiembre 2014	Diciembre 2014	Abril 2015	Septiembre 2015	Diciembre 2015	Abril 2016	Septiembre 2016
Incidencia 0	8	46	20	23	25	42	36	35	77	74	76	61	28	25	26	25	27	75	49	39	26	13	18	13	17	22	27
Incidencia 1	1	5	3	3	4	7	2	7	2	4	1	6	1	6	5	2	4	1	1	3	1	0	2	1	6	2	
Incidencia 2	2	8	1	4	4	11	7	4	4	2	1	6	9	6	14	8	8	4	4	4	6	3	5	3	5	8	3
Incidencia 3	4	10	9	4	6	11	9	9	5	5	8	6	6	20	24	11	10	2	8	7	8	6	4	6	4	9	5
Incidencia 4	10	9	13	13	16	18	17	15	4	5	8	11	25	20	15	20	15	6	6	4	8	9	6	13	13	8	13
Incidencia 5	8	2	19	25	37	5	17	13	1	3	0	4	18	11	8	23	25	1	13	18	18	11	22	19	25	23	
Incidencia 6	1	4	18	19	2	2	4	7	0	0	0	0	4	4	0	0	4	1	8	18	24	20	22	28	26	16	18
Incidencia 7	0	1	1	6	0	1	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3	2	1	20	15	9	2	1	5
Incidencia 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	12	5	0	1	0	1
Incidencia 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Sin Material	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Muerto	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	1	3	3	3
Sin Información	66	15	15	5	5	5	5	7	8	6	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	4	4	2	4	2	2	2

Incidencia de la roya en Paraguaicito

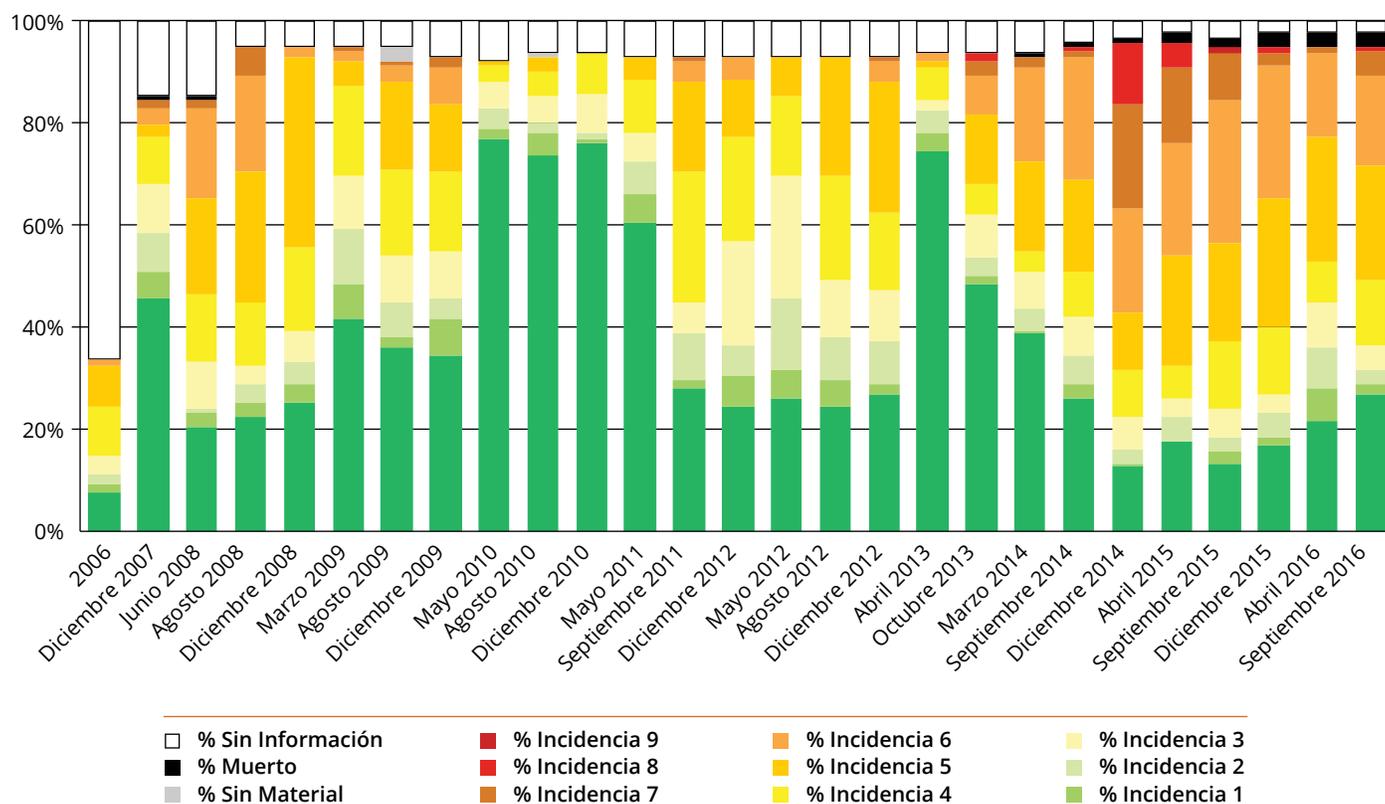


Figura 31. Distribución de porcentajes de genotipos derivados de Caturra x Híbrido de Timor afectados por roya en cada grado de incidencia y sanos en Paraguaicito (Quindío) entre 2006 y 2016. La incidencia de roya se califica mediante la escala de Eskes y Toma-Toma-Braghini (1981) para un árbol completo.

obtenidos y relacionarlo con el comportamiento de la enfermedad en el campo. El análisis espacial de los ICIR ha permitido la generación de registros detallados diarios como base para el desarrollo de las alertas tempranas a nivel regional; este tipo de herramientas permite al usuario analizar de manera oportuna una alerta en tiempo real para la toma de decisiones. En la Figura 32 se presentan los ICIR estimados para cada uno de los meses de 2016, donde se destacan las zonas con mayor favorabilidad para la ocurrencia de roya (ICIR >0,33). Para los siguientes años, se espera validar los índices generados con base en los registros de incidencia de la enfermedad tomados en el campo, tan pronto se genere la alerta. La integración de estos modelos y los registros en el índice de enfermedad permitirán un análisis mejor definido para cada zona agroecológica.

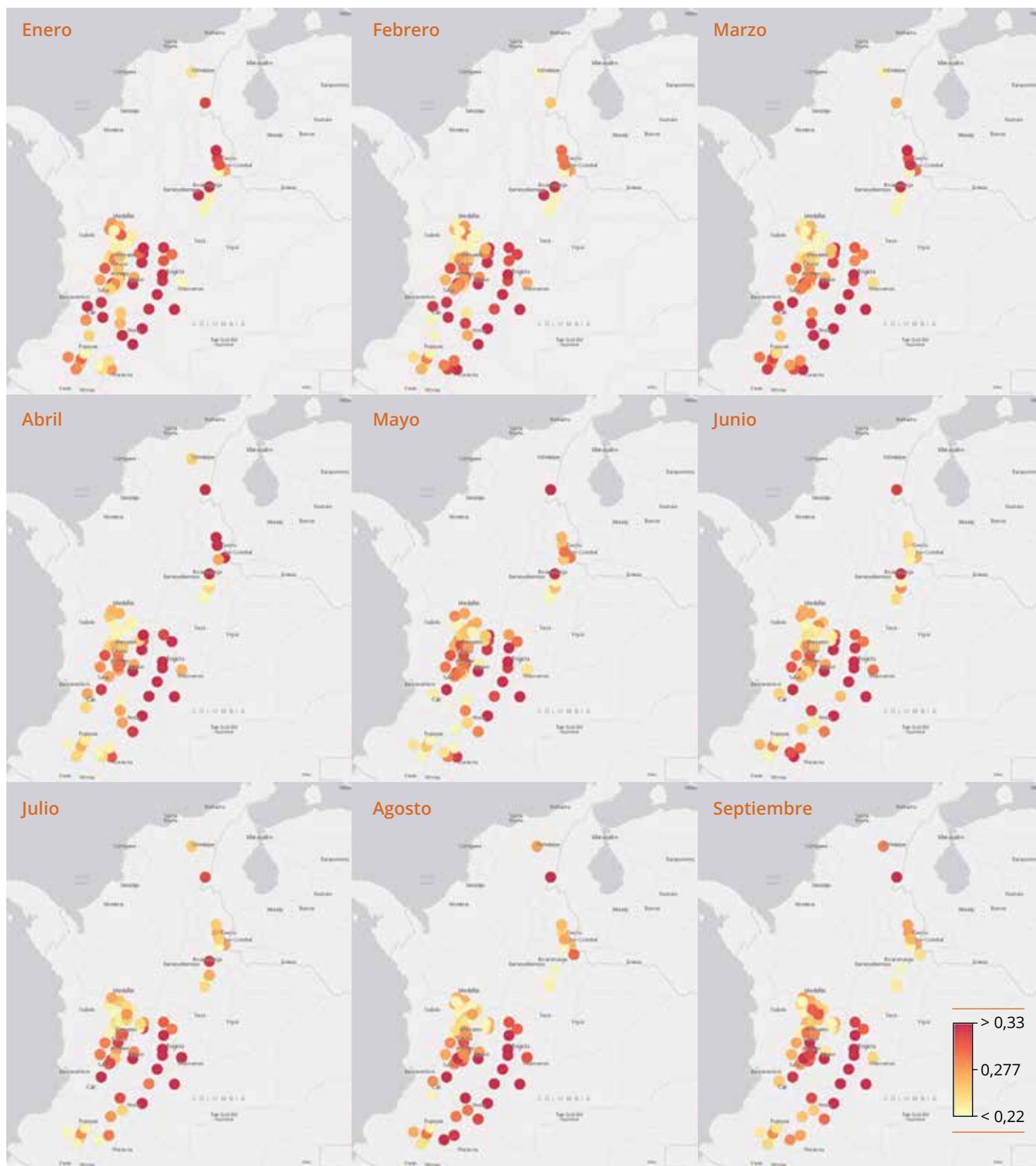
En los diagnósticos fitosanitarios nacionales realizados por el Servicio de Extensión de la FNC, con el apoyo de Cenicafé y la Disciplina de Biometría, en el mes de mayo de 2016, el promedio de la incidencia de roya por lote estuvo entre 3,0% y 40,8% entre departamentos para lotes con variedades susceptibles, destacándose la alta incidencia de la roya en los departamentos de Santander, Tolima, Nariño, Cauca, Boyacá y Huila, y promedios entre 0% y 2,4% para lotes con variedades resistentes, donde se destacan los departamentos de Quindío, Cauca, Cundinamarca, Caldas y Valle del Cauca. El promedio de incidencia de

roya para cafetales entre 2 y 7 años estuvo en 14,78% para susceptibles y fue de 1,22% para variedades resistentes. El 2,5% de los lotes con variedades resistentes que se evaluaron, presentaron más del 10% de incidencia de roya, destacándose los departamentos de Cauca, Huila, Valle del Cauca, Tolima y Cundinamarca. Para el diagnóstico nacional en julio de 2016, los promedios de incidencia para lotes de variedades susceptibles estuvieron entre 0,7% y 40,7% entre departamentos, siendo los departamentos más afectados Santander, Nariño, Huila, Caldas y Tolima, comparados con los promedios entre 0,4% y 4,4% de roya en lotes de variedades resistentes. El 3,97% de los lotes evaluados como variedades resistentes presentaron más del 10% de incidencia de roya. Estos mismos departamentos registraron los lotes de variedades susceptibles con valores máximos observados superiores al 81% de incidencia. En general, el promedio de incidencia de la roya estuvo en 1,8% para cafetales entre 2 y 7 años de variedades resistentes, y 19,6% para variedades susceptibles en las mismas edades.

**Alternativas de manejo químico de enfermedades.** Mediante proyectos en convenio con las compañías Cheminova y Bayer, se evalúan alternativas de manejo químico para control de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), en plantas de la variedad Caturra y de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) y el mal rosado (*Erythricium salmonicolor*) en plantas de Caturra y la Variedad Castillo®. Como innovación se muestran los resultados de las aplicaciones programadas con base en la ocurrencia de la floración principal comparadas con las de calendario fijo para cosecha principal en el segundo semestre del año, las cuales se convierten en una alternativa adicional para el manejo de la roya del cafeto.

En el estudio del efecto sobre la roya del fungicida Authority 250 SC (flutriafol + azoxystrobin) de Cheminova, se están evaluando las dosis del producto con diferente número de aplicaciones comparado con un testigo con fungicida de referencia y un testigo absoluto sin aplicación, en variedad Caturra en Palestina (Caldas). Los resultados indican diferencias estadísticas significativas a favor del fungicida evaluado para la altura, el número de ramas y el diámetro de tallo, y en el control eficiente de la roya, con la producción de café cereza en el 2016 de 27,4 kg/parcela versus 16,8 kg/parcela para el testigo sin aplicación. La incidencia y severidad de mancha de hierro y mal rosado han estado bajas por condiciones ambientales y de manejo, por lo cual no se evidencia el efecto del fungicida.

Para el caso del fungicida Impact Mix SC (flutriafol + imidacloprid) de Cheminova, durante las evaluaciones del año 2015 y comienzo del 2016, se observaron diferencias estadísticas a favor del fungicida en el control de la roya y en el desarrollo de las plantas en el experimento establecido con variedad Caturra, en la Estación Naranjal (Chinchiná, Caldas). Pero en lo transcurrido del segundo y tercer trimestre del 2016 se presentaron altas incidencias de roya y alta defoliación en todos los tratamientos



**Figura 32.** Comportamiento del Índice Compuesto de Incidencia de Roya (ICIR), de enero a septiembre del 2016. Valores >0,33 indican condiciones con alta favorabilidad para la ocurrencia de la roya, valores entre 0,17 y 0,30 indican favorabilidad media y valores <0,22 indican favorabilidad baja.



tuvieron un mayor efecto cuando se aplicaron en las dosis recomendadas o dosis altas, y su respuesta aumentó cuando disminuyeron los intervalos de aplicación en días. La diferencia entre ambas moléculas radicó en el tipo de señalización de la resistencia inducida, donde el acibenzolar-s-metil respondió sistémicamente y para el ácido salicílico la respuesta fue local. Los efectos sobre la severidad de la enfermedad dependen de la interacción entre las dosis y los intervalos de tiempo de aplicación; a dosis más altas, en intervalos de tiempo más cortos, se reduce la enfermedad. Contrario a esto, la respuesta local o sistémica depende más de la naturaleza misma de la molécula, siendo algunas de ellas más locales que sistémicas.

En las Estaciones Experimentales La Catalina (Risaralda) y Paraguaicito (Quindío), se está realizando la validación de los resultados de bionutrición en plantas de café. Se están valorando tres parcelas: una con fertilización mineral según análisis de suelos, y las otras con reducción del 33% y 56% del fertilizante mineral y complemento con el insumo biotecnológico Bacthon® de la compañía Orbiotec, respectivamente. Las evaluaciones y fertilización de las plantas se realizaron cada cuatro meses, registrando el crecimiento y desarrollo (diámetro del tallo, altura, número de cruces y ramas), la incidencia y la severidad de la mancha de hierro en los frutos y la producción de café. Los resultados en el 2016 indican que en La Catalina no se aprecian diferencias estadísticas significativas en el crecimiento y desarrollo de las plantas entre las parcelas donde se redujo el 33% del fertilizante mineral y las que llevan este fertilizante en un 100%, pero sí son diferentes de aquellas en las cuales se redujo el 56% del fertilizante. En Paraguaicito, se obtuvieron diferencias estadísticas significativas en las variables de crecimiento, desarrollo y menores porcentajes de enfermedad, a favor de la parcela donde se redujo el 33% de fertilizante y se complementó con Bacthon®, seguida por aquella en la que se redujo el 56% y se complementó con Bacthon®, y por último, aquella en la que se aplicó el 100% de fertilizante solo. Para ambas localidades, las parcelas que llevaron el insumo biotecnológico registraron menor incidencia y severidad de mancha de hierro, siendo ambas estadísticamente diferentes a las parcelas de 100% fertilizante mineral, con menor incidencia en la parcela con reducción del 33% del fertilizante. El promedio de la producción de los tres períodos que se han registrado en ambas Estaciones Experimentales hasta el momento (2014 al 2016) no presenta diferencias estadísticas significativas entre las tres parcelas evaluadas.

Actualmente, se está evaluando el efecto antagónico del hongo *Trichoderma harzianum* (Biofungo®) de la empresa Orbiotec, sobre el hongo patógeno *E. salmonicolor* causante del mal rosado en plantas de café Variedad Castillo® y las progenies CX2178 y CU1991. Las plantas se inocularon y se incubaron en condiciones de Fitotrón, con el fin de mantenerlas en condiciones óptimas de temperatura, luz y humedad para el crecimiento, desarrollo y

patogenicidad de *E. salmonicolor*. El efecto antagónico de *T. harzianum* sobre el hongo patógeno se está evaluando de manera preventiva y curativa. Se están estudiando las variables de crecimiento de las plantas (altura y número de hojas) y la incidencia y severidad del daño ocasionado por *E. salmonicolor*. Los primeros síntomas de la enfermedad y signos del hongo se observaron a los 16 y 18 días después de inoculado el patógeno. Aún no se registran diferencias estadísticas entre tratamientos con respecto a la incidencia de la enfermedad, pero sí se observan en la severidad de la misma, con efecto preventivo y curativo.

Con el objetivo general de contribuir al conocimiento de la diversidad y funcionalidad de las micorrizas arbusculares en el cultivo de café en el departamento del Huila, que pueda ser integrado a las recomendaciones sobre nutrición de las plantas, se realizó un análisis multivariado descriptivo de las fincas y lotes con sistemas de producción de café con Caturra y Variedad Castillo® del departamento, y se seleccionaron 105 lotes en las ocho zonas agroecológicas contrastantes para los 35 municipios. Con el apoyo del Servicio de Extensión en las respectivas seccionales se tomaron muestras de suelo y raíces en los municipios de Garzón, Guadalupe, Altamira y Tarqui, para 12 lotes con café (seis lotes de Variedad Castillo y seis lotes de variedad Caturra). Con el procesamiento se busca obtener especies de micorrizas nativas y adaptadas en los lotes de café para cultivarlas y caracterizarlas en el laboratorio

e invernadero. Este proyecto se realiza mediante el apoyo del Sistema General de Regalías – Departamento del Huila y el Comité Departamental de Cafeteros del Huila.

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

La frecuencia e intensidad de las alteraciones del clima, en especial La Niña, han favorecido la presencia de enfermedades emergentes en plantaciones de café en Colombia, como son gotera u ojo de gallo y muerte descendente, en regiones donde eran esporádicas y que ahora son más frecuentes y perjudiciales, no sólo en café bajo sombrero sino en cafetales a libre exposición y en todas las variedades de café cultivadas. Cenicafé con el apoyo de Gerencia Técnica de la FNC busca generar resultados y actualizar información sobre su conocimiento y manejo, y evitar su impacto en algunas regiones. Se tienen establecidos tres experimentos para gotera en las Estaciones Experimentales de El Tambo (Cauca) y Pueblo Bello (Cesar), y otro experimento para muerte descendente en la finca de un caficultor en Salento (Quindío).

En la investigación sobre control químico de la roya y de gotera en variedad Caturra y en cuatro progenies componentes de la Variedad Castillo®, distribuidas en dos condiciones altitudinales, con polisombra del 35% y 65%, aplicando de manera preventiva al suelo los fungicidas Verdadero WG 300 y el Impact Mix, muestra

que la incidencia de la gotera ha estado muy baja en las distintas progenies evaluadas, con excepción de algunas plantas de la progenie CU1827 bajo polisombra del 60%, en la cual se ha observado mayor incidencia de la enfermedad. Aún no se aprecia una respuesta consistente sobre el efecto de las aplicaciones de los dos fungicidas al suelo sobre el control de la gotera, pero éstos sí difieren para el control de la roya en Caturra, donde las plantas testigo registraron incidencia del 40% versus las tratadas con los fungicidas Verdadero e Impact Mix, que estuvieron entre el 4% y 12%, siendo diferentes estadísticamente al testigo.

Con relación a los trabajos sobre muerte descendente (*Phoma* spp.), se tiene un experimento en Salento (Quindío) a una altitud de 1.800 m, con Variedad Castillo® de 56 meses de edad. Se está evaluando el fungicida Vivarus® (fluxapiraxad + pyraclostrobin) de BASF, comparado con un testigo del fungicida de referencia y otro sin aplicación de producto. Las aplicaciones se realizaron basados en el comportamiento histórico de variables de clima, en especial precipitación, vientos y temperatura, y el desarrollo de la planta. Tanto en el 2015 como en el 2016 no se ha contado con condiciones ambientales favorables para el avance de la enfermedad que es catalogada como emergente durante los eventos La Niña, siendo más una epidemia que una enfermedad, con daños leves y en ocasiones visibles sobre los brotes, sin impactar la producción. Este hongo en

café necesita de condiciones como las registradas en los años 2008-2012, con períodos prolongados de invierno y con corrientes de aire frío, cuando afecta severamente el desarrollo de las plantas y la producción en algunas regiones.

Con el objetivo de contribuir al conocimiento de la biología del hongo *Mycena citricolor*, causante de la gotera, se tomaron muestras de hojas y frutos de café de diferentes regiones del país. Se ha iniciado un reconocimiento preliminar y descriptivo de aislamientos del hongo, reactivándolo en cámara húmeda a partir de lesiones tanto frescas como viejas y secas, y de esta manera se obtuvieron las estructuras asexuales (micelio y gemas) y sexuales (basidiocarpos) (Figura 34a), precedidos por la formación de basidios y gemas robustas. La siembra de gemas sobre medio de cultivo de PDA permitió purificar, mantener aislamientos y producir masas de micelio con callosidades que diferencian a gemas y basidios en condiciones controladas (Figura 34b). El micelio sembrado en medio líquido permitió obtener agregados útiles para la producción masiva de gemas (como fuente de inóculo), que se colocaron sobre chapolas de café variedad Caturra y bajo condiciones controladas, se observó que el micelio directamente no infectó las hojas cotiledonares, pero sí las gemas emitidas sobre el agregado de micelio, que replicaron la enfermedad. Se verificó la capacidad infectiva de las gemas de cinco aislamientos mediante inoculaciones sobre hojas de plantas de almácigo de variedad Caturra, realizando

seguimiento detallado a la formación de lesiones a través del tiempo, y de la emisión de nuevas gemas y formación de basidios y basidiocarpos. Estos resultados son básicos para el desarrollo de metodologías de caracterización y cultivo del hongo en condiciones controladas.

Durante el 2016 se realizaron cuatro visitas técnicas por solicitud del Servicio de Extensión a los departamentos de Boyacá, Cauca y Nariño, a regiones con alta prevalencia e impacto de gotera, con el fin de realizar un reconocimiento de la problemática de esta enfermedad

endémica en estas zonas, dadas las condiciones altamente favorables de clima, topografía, vegetación y sistemas productivos. Se realizaron actividades de capacitación sobre manejo integrado de la enfermedad, se recolectaron algunas muestras para obtener aislamientos del hongo y se realizó una evaluación piloto de cuantificación de la incidencia y severidad en hojas, frutos y brotes o terminales de ramas. Con base en estos resultados y la metodología utilizada, se inició un muestreo más amplio para 175 lotes en los diferentes distritos del departamento de Boyacá.



**Figura 34.** Síntomas de la enfermedad de gotera u ojo de gallo (*Mycena citricolor*) en hojas de café inoculadas con gemas producidas a partir de micelio cultivado *in vitro*. **a.** Se observan los signos del patógeno; gemas (asexuales) y los basidiocarpos en forma de sombrilla (sexuales) sobre las lesiones. **b.** Gemas, basidios y basidiocarpos de *M. citricolor* producidos *in vitro* en medio de cultivo de PDA a 21°C y fotoperíodo de 12 h de luz.

## Fitotecnia

### Investigaciones en caficultura a libre exposición solar

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 café Variedad Castillo® Naranjal, con un arreglo espacial al cuadro, con distancias de 1,5 x 1,5 m, densidad de 4.400 plantas/ha y renovación por zoca común. Antes de la labor de selección de chupones o tallos, 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 total de cada parcela y la producción individual en una muestra de 100 árboles (unidades de muestreo), seleccionados aleatoriamente por una única vez, se obtuvo la producción por árbol durante el año, y como parámetro la producción de la parcela por año. Después de 3,5 años de edad de la plantación, la mayor producción se presentó en el tratamiento con dos tallos por sitio, con respecto al tratamiento de un tallo por sitio, según prueba *t* al 5%. Con los resultados obtenidos hasta el momento en esta investigación, la producción de dos tallos por sitio es un 23,1% mayor que la producción de un tallo por sitio, bajo el arreglo espacial y la densidad de plantas del sistema de producción evaluado.



En investigaciones tendientes a evaluar la respuesta en producción de café cereza, utilizando diferentes arreglos espaciales en siembras de café Variedad Castillo® y en diferentes ambientes de la zona cafetera de Colombia, se estructuraron tres arreglos espaciales a 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 las ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé, localizadas en condiciones ambientales desde los 2° hasta los 10° de latitud Norte y rangos altitudinales entre los 1.100 y 1.700 m. Bajo el diseño experimental de bloques completos al azar, se establecieron tres parcelas de 1.000 m<sup>2</sup> por cada arreglo espacial, por localidad, para un total de 24 bloques. La producción registrada por parcela experimental de 1.000 m<sup>2</sup>, durante la cosecha de los años 2014 y 2015, mostró la menor producción en el arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m con dos

tallos por sitio (5.000 plantas/ha) con relación a los otros dos arreglos (1,0 x 1,0 m y 0,75 x 1,4 m) en las Estaciones Experimentales La Trinidad y Paraguaicito. Los resultados obtenidos hasta el momento en estas dos localidades muestran el efecto de la densidad sobre la producción y que bajo la condición del arreglo espacial, con dos ejes por sitio, no se alcanza la producción obtenida en los arreglos con mayor densidad de plantas. En la Estación La Trinidad, durante el año 2015, la mayor producción de café cereza se obtuvo con el arreglo espacial de 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha), superando la producción en 31,1% con relación al arreglo de 0,75 x 1,4 m, y en el 60,2% con relación al arreglo espacial de 1,0 x 2,0 m con dos tallos por sitio. En las localidades de Naranjal y San Antonio, en el departamento de Santander, en los dos años evaluados no se encontraron diferencias entre el promedio de la producción acumulada con los diferentes arreglos.

Con agronomía, soportada en la investigación, se evalúa si la producción obtenida con la aplicación de dicho conocimiento, se acerca a la producción potencial. En la Estación Experimental La Catalina, entre mayo de 2015 y septiembre de 2016 se presentaron condiciones secas, con predominio de altas temperaturas. La condición de cultivo, de no tener un suelo en punto de marchitez y experimentar una mayor oferta térmica, con planes de manejo agronómico oportunos, condicionaron una mayor ganancia de materia seca, la cual determinó una producción para el período de este informe de 31.300 kg.ha<sup>-1</sup> de café cereza en un año y un acumulado en el ciclo de 75.100 kg.ha<sup>-1</sup> de

café cereza, del segundo semestre del 2013 al 2016.

### **Investigaciones en caficultura bajo sombrío**

En la finca Villa Sofía del municipio de Charalá, departamento de Santander, se evaluó el efecto de la intensidad del sombrío suministrado por cinco especies de leguminosas, sobre la cantidad y la calidad de la producción del café. En esta investigación se registró que con el sombrío establecido a 6,0 x 6,0 m, el máximo promedio de rendimiento alcanzado fue de 22.382 kg.ha<sup>-1</sup> de cps en cinco cosechas, con guamo santaferreño, nauno y carbonero. Con sombrío establecido con 123 árboles/ha, se obtuvieron similares producciones con las cinco especies

leguminosas (12.387 kg.ha<sup>-1</sup> de cps en concí cosechas).

En la Granja Blonay del municipio de Chinácota, departamento de Norte de Santander, se está evaluando el efecto en la producción de café a diferentes densidades de siembra y dosis de fertilización en sistemas agroforestales; los resultados parciales de producción indican que con niveles de fertilización entre 0% y 50%, los máximos rendimientos de café se obtienen con densidades de siembra de 9.000 plantas/ha. Con aplicaciones de fertilizante entre el 75% y 100% de la dosis recomendada en los resultados del análisis de suelos, es igual el nivel de producción alcanzado con 7.200 y 9.000 plantas/ha.

## Fisiología Vegetal

### Fisiología de la floración

**Caracterización de la floración del germoplasma de café.** Con el objetivo de caracterizar el germoplasma de café en términos de distribución y magnitud de la floración, a partir de noviembre de 2014 y hasta septiembre del 2016, se realizó el registro de la floración de diez líneas componentes de la Variedad Castillo®, ubicadas en dos Estaciones Experimentales de Cenicafé. Se analizó el porcentaje de floración (PF) en el pico principal de floración, porque en la mayoría de genotipos se concentra más del 40% de la floración semestral, registrado por semestre (I: noviembre-abril o II: mayo-octubre), con el estadístico *t* al 95%. Algunos de los avances en esta investigación muestran que en la Estación El Tambo (Cauca), durante el semestre comprendido entre mayo y octubre de 2015, el mayor pico de floración se presentó en la semana 16, donde el genotipo BH1247 con un PF de 75%, fue estadísticamente superior del resto de los genotipos, a excepción del genotipo CX2848 (PF=59%). Entre mayo y octubre de 2016, el mayor pico de floración se presentó en la semana 23, donde el genotipo CX2720, con un PF de 82%, fue estadísticamente superior al resto de los genotipos, mientras que el genotipo CU1812 (PF=60%) fue estadísticamente inferior a los genotipos BH1247 (PF=70%) y BIO712 (PF=73%) (Figura 35).



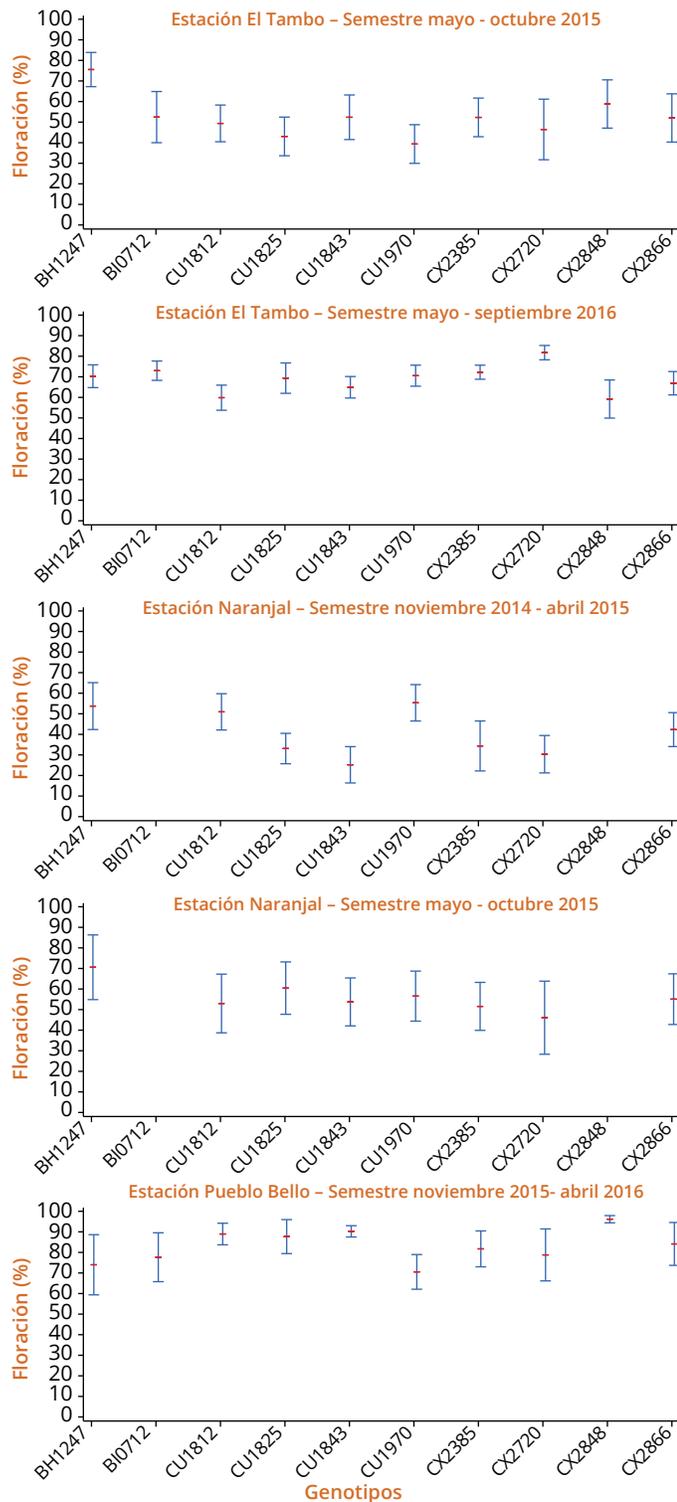
En la Estación Naranjal (Caldas), durante noviembre del 2014 y abril de 2015, los genotipos BH1247 (PF=54%), CU1812 (PF=51%) y CU1970 (PF=56%) fueron estadísticamente superiores a los genotipos CU1825 (PF=33%), CU1843 (PF=25%) y CX2720 (PF=31%), en el resto de comparaciones no se observaron diferencias estadísticas; durante el semestre comprendido entre mayo y octubre de 2015, en el pico principal de floración, que ocurrió en la quinta semana del semestre, no se encontraron diferencias significativas entre genotipos (Figura 35). Para la Estación Pueblo Bello (Cesar), durante el semestre comprendido entre noviembre del 2015 y abril de 2016, el mayor pico de floración se observó en la semana 26, donde el genotipo CX2848 (PF=96%) fue estadísticamente superior del resto de los genotipos, a excepción del genotipo CU1825 (PF=88%). Por otra parte, el genotipo CU1970 (PF=71%) fue estadísticamente inferior

a los genotipos CU1812 (PF=89%), CU1825 (PF=87%) y CU1843 (PF=90%) (Figura 35).

Lo anterior, permite concluir que algunos de los genotipos evaluados presentan diferencias estadísticas por localidad y semestre, en cuanto a la expresión del pico principal en términos de magnitud; pero esta diferencia no fue consistente entre semestres o entre las localidades.

### Fisiología de la semilla y la propagación del cafeto

**Evaluación del contenedor Jiffy Pellet como alternativa para la elaboración de almácigos de café.** En los almácigos de café es normal el uso de bolsas de polietileno con suelo y materia orgánica, como contenedores de las plántulas de café; sin embargo, en el mercado existen otros contenedores de potencial uso, como los Jiffy-Pellets. En esta

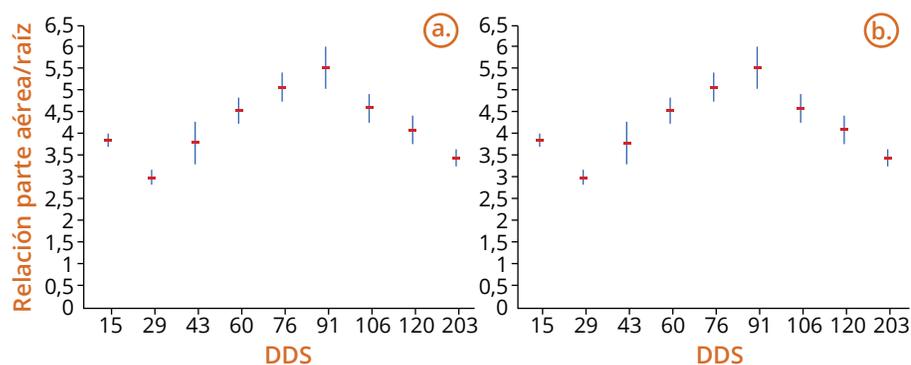


**Figura 35.** Porcentaje de floración y límites de confianza al 95%, para diez genotipos componentes de la Variedad Castillo® en las Estaciones Experimentales de El Tambo, Naranjal y Pueblo Bello, durante la semana del pico principal de floración, desde noviembre del 2014 hasta abril del 2016.

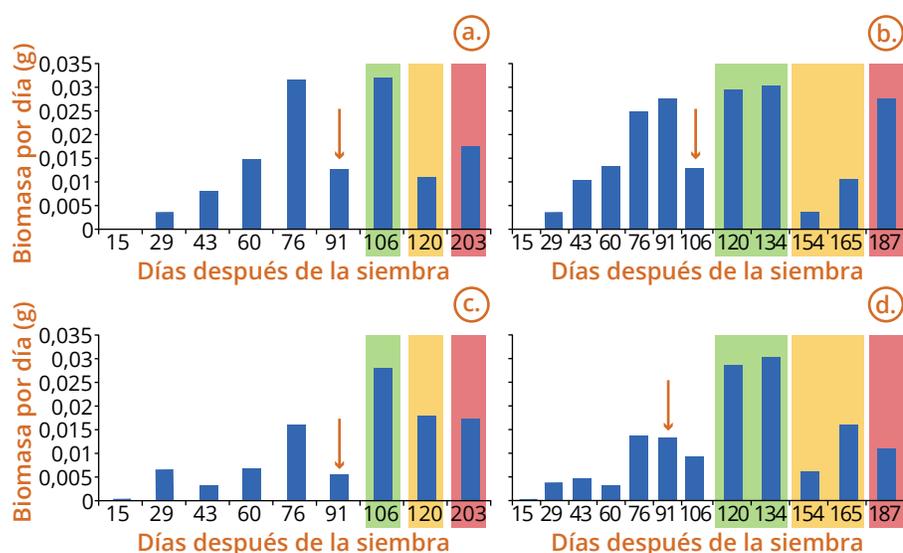
investigación se evaluaron los contenedores Jiffy-Pellets con el fin establecer el tiempo ideal de trasplante de la planta de café al campo. Para ello, se evaluó el crecimiento de plántulas de café en los contenedores Jiffy-Pellets de 9,5 y 15 cm, buscando establecer el momento en el cual la relación del peso seco de la parte aérea/ peso seco de la raíz (PPA/PR) alcanzaba un valor aproximado de 5 (5:1), el cual es un óptimo fisiológico, y el momento a partir del cual este valor cambia (alteración en el crecimiento). Mediante la prueba *t*, se determinó que en los Jiffy Pellets de 9,5 cm, a partir de los 76 días después de la siembra (DDS) se alcanza un valor aproximado de 5 en la relación PPA/PR, el cual se mantiene estadísticamente similar hasta los 91 DDS (Figura 36a). Para el Jiffy-Pellet de 15 cm, el tiempo en el cual se alcanza un valor estadísticamente próximo a 5 fue a los 60 DDS, no obstante, se observó que esta relación se mantiene hasta los 106 DDS (Figura 36b).

Los análisis descriptivos de las tasas de acumulación de biomasa seca en la parte aérea y en la raíz, mostraron que los Jiffy-Pellets de 9,5 cm, incrementaron las tasas de crecimiento para los órganos aéreos y de la raíz desde el inicio del experimento hasta los 76 DDS, posteriormente la tasa de crecimiento disminuyó a los 96 DDS, señalando limitaciones al crecimiento de la planta. Luego, inició un nuevo un proceso de ajuste al estrés generado por el recipiente, hecho que aumentó nuevamente la tasa de crecimiento de las plantas; sin embargo, esta tasa no se estabilizó en este punto, sino que nuevamente descendió a los 120 DDS. Finalmente, a los 203 DDS, la planta no fue capaz de regenerar la tasa de crecimiento de la raíz, pero sí lo hizo la parte aérea (Figura 37 a y c). Las plántulas de café en los Jiffy-Pellets de 15 cm presentaron un comportamiento similar, pero el estrés inicial se observó a los 106 DDS con un incremento hasta los 134 DDS, tanto en la raíz como en la parte aérea. A los 187 días, la planta no fue capaz de recuperar la tasa de crecimiento en la raíz, pero sí lo hizo en la parte aérea (Figura 37 b y c).

Se concluye que el momento oportuno para realizar el trasplante al campo, sin que se afecte la tasa de crecimiento y la distribución de los asimilados de la planta, es de 91 y 106 DDS para los Jiffy-Pellets de 9,5 y 15,0 cm, respectivamente. En términos fisiológicos, las plantas pueden



**Figura 36.** Relación entre peso seco de la parte aérea/peso seco de la raíz en contenedores Jiffy-Pellet de 9,5 cm (a) y 15,0 cm (b) de longitud.



**Figura 37.** Tasa de acumulación de biomasa de plantas que crecieron en contenedores Jiffy Pellets de 9,5 cm, tallo (a), raíz (c); y de 15 cm, tallo (b) y raíz (d).

g.L<sup>-1</sup>) + Nitro-K (1 g.L<sup>-1</sup>) cada 7 días; T3: Osmocote (0,4 g/planta al momento de la siembra y 5 semanas después) + Cosmocel 20-30-10 (4 g.L<sup>-1</sup>) cada 20 días. Teniendo presente que el Osmocote es más costoso y su distribución en el país es escasa, se determinó que el plan fertilización más adecuado para plantas de café establecidas en Jiffy-Pellets es el tratamiento 2, con el cual se garantiza que las plantas tendrán un desarrollo normal sin que se presenten deficiencias nutricionales.

## Mejoramiento fisiológico

### Evaluación de variables morfoagronómicas y fisiológicas relacionadas con factores de rendimiento y uso eficiente de recursos en germoplasma de café.

Con el objetivo de establecer las variables morfoagronómicas y fisiológicas relacionadas con los componentes de producción (flores y frutos), en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas), en 20 accesiones de *Coffea arabica* L. pertenecientes a la Colección Colombiana de Café – CCC (E039, E054, E057, E069, E070, E114, E286, E291, E318, E338, E428, E464, E501, E510, E554, E546, Bourbon, Maragogipe, Tabi y Típica) y en seis progenies de la Variedad Castillo® (CU.1815, CU.1990, CX.2197, CX.2720, CX2848 y DG-376), se evaluaron las variables de producción de café cereza por árbol y el número de flores, las cuales se correlacionaron con las variables complementarias diámetro del tallo (Diámetro), altura del tallo (Altura), número de cruces (Cruces), número de ramas (Ramas), grados día

mantenerse 14 y 30 días más en los contenedores, a partir del momento oportuno de trasplante para los Jiffy-Pellets de 9,5 y 15,0 cm, respectivamente. De superar el tiempo descrito, sin realizar el trasplante al campo, se incurre en el desbalance de la biomasa y en una caída de las tasas de crecimiento en los órganos radicales, lo cual puede generar problemas de anclaje y limitaciones para la toma de nutrientes.

Paralelamente, se evaluó el manejo nutricional de plantas

de café cultivadas en Jiffy Pellets, debido a que los contenedores al ser inertes, no tienen los nutrientes que la planta necesita para su crecimiento. Se establecieron tres tratamientos de nutrición y se realizó un muestreo de biomasa seca total a los 120 DDS. No hubo diferencias entre los tratamientos evaluados: T1:Cosmocel 20-30-10 (2 g.L<sup>-1</sup>) menores + Cosmoquel Ca (1 g.L<sup>-1</sup>) + Nitro-K (1 g.L<sup>-1</sup>) cada 14 días; T2: Cosmocel 20-30-10 (2 g.L<sup>-1</sup>) menores + Cosmoquel Ca (1

para formar 1 cm de diámetro (GDD Diámetro), grados día para formar 1 cm de altura (GDD Altura), grados día para formar una cruz (GDD Cruz), grados día para formar una rama (GDD Rama), intercambio gaseoso (An), temperatura del dosel (TD), depresión de temperatura del dosel (TDT), índice de vegetación diferencial normalizado (GREENS), contenido de clorofila (SPAD) y contenido relativo de agua (CRA), mediante el coeficiente de correlación de Pearson.

En la Tabla 1 se presentan las correlaciones de Pearson entre las variables complementarias con las variables de floración y producción. Para accesiones de la CCC no hubo correlaciones significativas; sin embargo, para las progenies de Castillo®, la cantidad de grados día para formar un centímetro de diámetro de tallo (GDD Diámetro) presentó una correlación inversa con la

producción. Entre tanto, la cantidad de grados día para formar una rama (GDD Rama), una cruz (GDD Cruz) y el CRA, presentaron correlaciones inversas con el número de flores.

### Sensores remotos para el monitoreo del cultivo del café

**Evaluación de imágenes espectrales en la identificación de genotipos y cuantificación de la floración.** Con el objetivo de evaluar el desempeño de imágenes espectrales en la identificación de genotipos y en la cuantificación de la floración, se desarrollaron distintas pruebas para establecer las regiones del espectro electromagnético que presenten picos diferenciales y puedan ser utilizadas para la distinción de las líneas componentes de la Variedad Castillo®.

Las imágenes generadas por los lentes máster y 5, de la cámara multi-espectral Tetracam, que se encuentran a una longitud de onda de 800 y 900 nm, respectivamente, muestran que el follaje de la planta resalta más que cualquier otro objeto dentro de la imagen. Las imágenes generadas por los lentes 1 y 3, que se encuentran a una longitud de onda de 490 y de 680 nm, respectivamente, resaltan más la floración de la planta, en relación a los otros objetos de la imagen. Otras pruebas con la cámara multi-espectral, para los 42 genotipos del lote Matilde-Cancha, mostraron que las fotografías capturadas para el genotipo CX2197, presentaron valores digitales más bajos para la lente 1. Para el lente número 2, que absorbe luz en la región del espectro de 550 nm, se observó que el genotipo CU1970 presentó los mayores niveles digitales de transmitancia, hecho que lo diferenció de

**Tabla 1.** Correlaciones entre algunas variables complementarias con floración y producción para los 26 materiales de *C. arabica*.

		Genotipos de porte alto													
		Altura	Diámetro	Cruces	Ramas	GDD Altura	GDD Diámetro	GDD Cruz	GDD Rama	An	SPAD	GREENS	TD	TDT	CRA
Producción flores	Corr	-0,10	0,00	0,00	-0,13	-0,07	0,03	-0,14	-0,14	-0,08	0,28	-0,02	-0,10	-0,09	0,07
	Prob >  r	0,437	0,976	0,976	0,308	0,597	0,823	0,301	0,301	0,547	0,031	0,898	0,435	0,484	0,584
	Corr	-0,25	-0,08	-0,08	-0,29	0,20	0,20	-0,01	-0,01	-0,04	0,22	-0,03	-0,02	-0,03	0,07
	Prob >  r	0,053	0,529	0,529	0,024	0,127	0,132	0,970	0,970	0,749	0,090	0,813	0,874	0,832	0,603
		Genotipos de porte bajo													
		Altura	Diámetro	Cruces	Ramas	GDD Altura	GDD Diámetro	GDD Cruz	GDD Rama	An	SPAD	GREENS	TD	TDT	CRA
Producción flores	Corr	0,43	0,12	0,12	-0,11	-0,24	-0,54	-0,40	-0,40	0,02	-0,05	-0,04	-0,15	0,21	-0,05
	Prob >  r	0,078	0,624	0,624	0,651	0,332	0,022	0,096	0,096	0,934	0,858	0,864	0,543	0,412	0,854
	Corr	-0,06	0,46	0,46	0,10	0,07	-0,04	-0,59	-0,59	-0,20	0,10	-0,05	0,36	-0,39	-0,63
	Prob >  r	0,808	0,057	0,057	0,682	0,774	0,880	0,011	0,011	0,419	0,683	0,835	0,143	0,111	0,005

Corr: Correlación de Pearson y su significancia (Prob > |r|).

otros genotipos. Para el lente número 3, se diferenciaron los genotipos CX2074 y Costa Rica 95. En el lente máster, se observa que el genotipo CX2197 resalta de los demás, al tener el valor digital de píxeles más alto. En el lente 5, las tonalidades de las imágenes son muy similares, con excepción del genotipo CX2074, que tiene una tonalidad más oscura.

Así mismo, se realizaron pruebas con el espectro radiómetro portátil. Se recopilaron diez espectros por cada uno de los genotipos del lote DHE Matilde-Cancha, con un total de 400 espectros, para los cuales se determinaron los promedios para reducir la variación entre firmas espectrales. Se observó que los espectros con mayor diferenciación corresponden a los genotipos: CX2074, BGO459, CX2827,

IAPAR59, CU2034, Costa Rica 95, CU1970 y CX2197 (Figura 38). De igual manera, se realizó una comparación entre los espectros anteriormente mencionados y un canephora puro (Figura 39).

## Fisiología de raíces

**Evaluación de la influencia de las condiciones fisicoquímicas del suelo sobre el crecimiento, distribución espacial y morfología del sistema radical del cafeto.** Con el objetivo de conocer la distancia a partir de la raíz principal, en la cual se encuentra el mayor porcentaje de raíces vivas, se seleccionaron diez árboles al azar, de lotes con café Variedad Castillo® de 1,9; 3,6 y 5,3 años de edad, en la Estación Experimental El Rosario (Venecia, Antioquia). En cada árbol, se muestreó el sistema radical a 30 cm de profundidad, en cuatro cuadrantes a una distancia de 20 y 50 cm del tronco del árbol. El primer cuadrante, siempre se ubicó en sentido de la pendiente y de ahí en sentido contrario a las manecillas del reloj. El análisis del porcentaje de raíces vivas no mostró diferencias estadísticas entre distancias de muestreo, cuadrantes o edades evaluadas. Para los árboles con 1,9 años de edad, la mayor cantidad de biomasa seca de raíces se encontró en los cuadrantes dos y tres. Por su parte, en los árboles de 3,6 años la mayor acumulación de raíces se presentó en los cuadrantes uno y cuatro, mientras que en árboles de 5,3 años se registró en los cuadrantes uno, dos y cuatro (Tabla 2). Independiente de la edad evaluada, a los 20 cm del tronco del árbol se presentó la mayor acumulación de biomasa seca de raíces con diferencias estadísticas al 95% (Tabla 2). En los árboles de 1,9 años la mayor

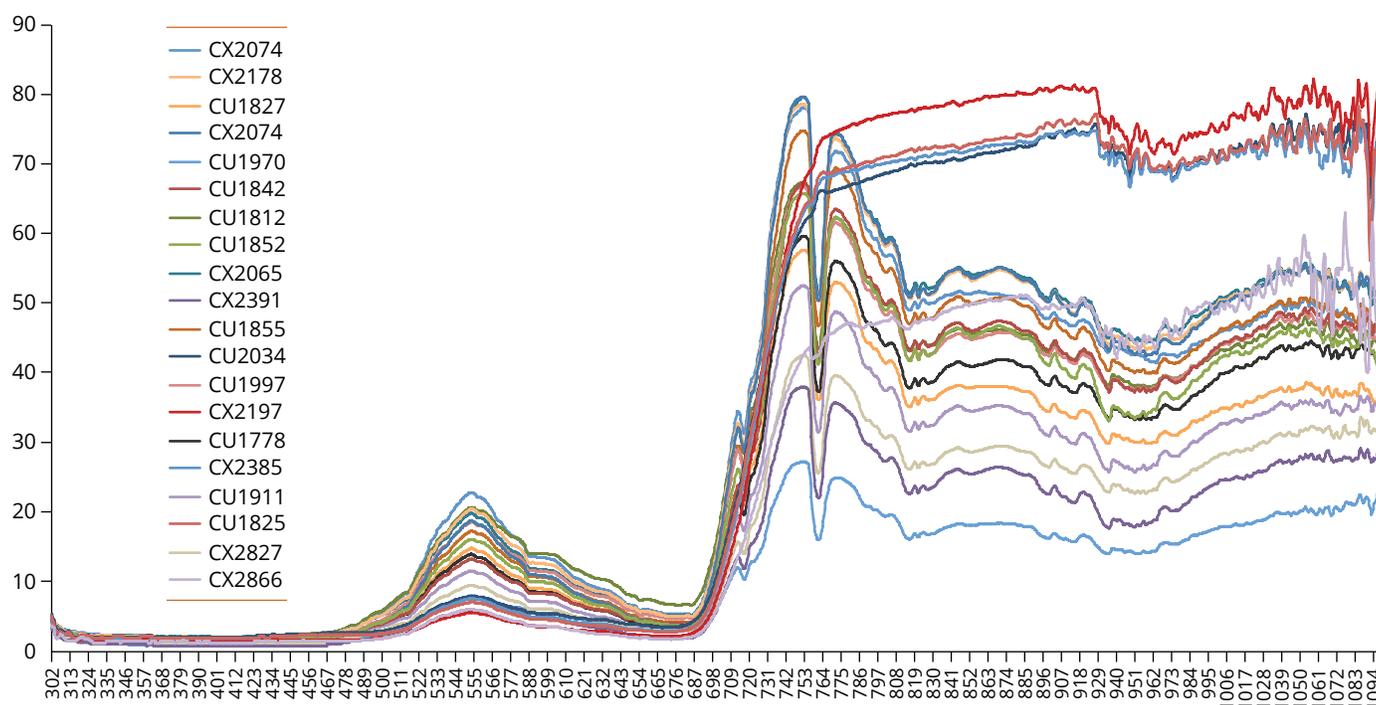
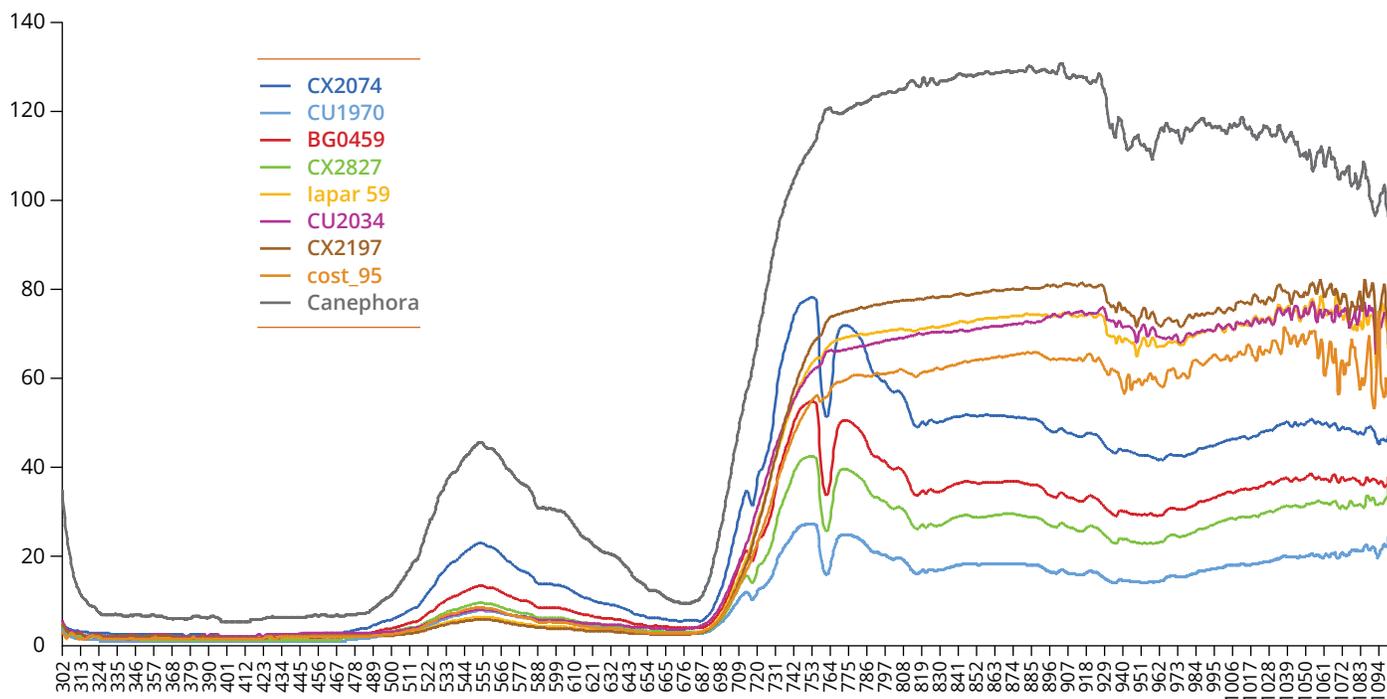


Figura 38. Genotipos con la respuesta espectral más diferenciada.



**Figura 39.** Comparación entre materiales del lote DHE y un canephora puro.

cantidad de raíces se encontró en el cuadrante tres, debido a que la planta en su desarrollo acumuló la mayor concentración de raíces, con el fin de tener un mejor anclaje al terreno. Los resultados obtenidos sugieren que la ubicación de los fertilizantes se disponga preferiblemente a 20 cm del tronco del árbol, hecho que favorecería la adecuada absorción de los nutrientes.

**Evaluación del efecto de diez enraizadores comerciales en plántulas de café (*Coffea arabica* L.), en etapa de almácigo.** En el sector de La Granja de Cenicafé (Manizales, Caldas), se evaluó el desempeño de diez productos comerciales (enraizadores) sobre el crecimiento de las raíces de plántulas de café (genotipo CX2848), durante la etapa de almácigo. Los tratamientos fueron: 1: Hormoagro (las raíces se pusieron en contacto con el producto durante 5 s y se procedió a la siembra); 2: Fertigro+Rootex 10 cm<sup>3</sup> + 5 g.L<sup>-1</sup>; 3: Radrigrow 3 cm<sup>3</sup>.L<sup>-1</sup>; 4: Nutrisorb L 5 cm<sup>3</sup>.L<sup>-1</sup>; 5: MeristemRaiz 1,5 cm<sup>3</sup>.L<sup>-1</sup>; 6: Raizal 2,5 g.L<sup>-1</sup>; 7: Rootfeed 2,5 g.L<sup>-1</sup>; 8: Radifarm 0,5 cm<sup>3</sup>/p; 9: Viva 5 cm<sup>3</sup>/p; 10: Lombricol 10 mL.L<sup>-1</sup>, aplicados según las recomendaciones de la casa comercial, más un testigo sin aplicación (11). Cada tratamiento contó con 25 repeticiones

**Tabla 2.** Prueba de t para la cantidad de biomasa seca de raíces (g) por cuadrante y edad.

Edad	Cuadrante	Peso seco raíz (g)		
		20 cm	50 cm	Pr > F
1,9	1	8,26	4,7	0,1524
1,9	2	8,44	4,81	0,0385*
1,9	3	10,13	4,8	0,0414*
1,9	4	7	4,85	0,1509
3,6	1	12,36	8,32	0,0176*
3,6	2	14,02	8,77	0,0798
3,6	3	16,83	9,4	0,0514
3,6	4	18,32	9,52	0,0361*
5,3	1	13,63	8,38	0,0213*
5,3	2	10,77	5,76	0,001*
5,3	3	9,35	5,89	0,051
5,3	4	11,75	6,6	0,0372*

\*Diferencias estadísticas al 95% de confianza según la prueba de t.

(plántulas), bajo un diseño completamente al azar. Las variables biomasa seca de raíces, tallo y hojas se registraron a los 140 días después del trasplante. El análisis estadístico mostró diferencias estadísticas a favor del tratamiento 2 con respecto al testigo en la prueba de Dunnett al 95%, en el contenido

de biomasa de todos los órganos evaluados, así como en la biomasa seca total (Tabla 3). En contraste, la biomasa seca de los tratamientos 1 y 7 fue estadísticamente menor respecto al testigo. En el resto de tratamientos no se observaron diferencias significativas con el testigo. En conclusión, las plantas provenientes del tratamiento 2 presentaron de manera consistente la mejor respuesta en las diferentes variables evaluadas, con respecto a las plantas no tratadas (testigo).

## Fisiología del dosel

### Evaluación de los componentes del dosel de plantas de café y su relación con la producción.

Como parte de la evaluación de los componentes del dosel en plantas de café, la medida indirecta del índice de área foliar-IAF tiene gran relevancia para estudios ecofisiológicos y como parte de la estrategia para establecer la relación entre esta variable con la producción. Por lo tanto, es conveniente tener en cuenta las siguientes recomendaciones en cuanto al uso del SunScan Canopy (ceptómetro) equipo utilizado para estimar el IAF. Las mediciones deben realizarse entre las 11:00 y 13:00 h, cuando el ángulo cenital es menor a 30°. Al realizar las mediciones con el ceptómetro bajo el dosel, es necesario mantenerlo en un ángulo diagonal al de los surcos, con lo cual se abarca la mayor proporción de área foliar, y hacerlo cuando el cultivo de café tenga un año o más de edad

**Tabla 3.** Evaluación de diez enraizadores comerciales sobre la biomasa seca de hojas (BSHojas), tallo (BSTallo) y raíces (BSRaíz) de café, a los 140 días.

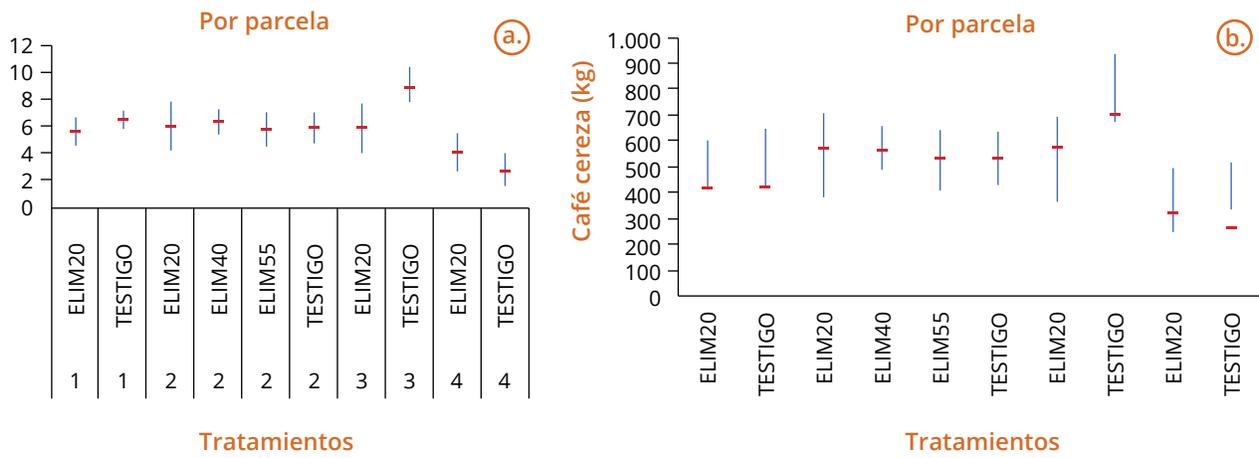
Tratamiento	BSHojas (g)	BSTallo (g)	BSRaíz (g)	BS total (g)
1	1,335*	0,387 **	0,475**	2,19*
2	3,348**	1,3287*	1,251*	5,92*
3	2,756	1,145	0,828	4,729
4	2,21	0,881	0,776	3,86
5	2,6674	1,118	0,836	4,62
6	2,922	1,2068	0,929	5,05
7	1,069**	0,3566*	0,29**	1,71**
8	3,025	1,188	0,84	5,05
9	2,7075	1,1062	0,7494	4,56
10	2,368	1,0185	0,82	4,2
Testigo	2,272	0,9811	0,854	4,1

\*Diferencias estadísticas al 95% de confianza con la prueba de Dunnett; \*\* Diferencias estadísticas al 99% de confianza con la prueba de Dunnett.

después de la siembra. El parámetro ELADP (asociado con la distribución de ángulos foliares) se calculó en 1,99 para café Variedad Castillo®. Además, se determinó que en Chinchiná, el follaje más importante para la cosecha del segundo semestre es el de los meses de abril a octubre y, el más crítico, el de los meses de mayo a julio, cuando la mayoría de los frutos están en la fase de crecimiento acelerado y de llenado, esto significa que las mediciones de IAF asociadas a la producción deberían registrarse en el mes de agosto.

### Evaluación del efecto de la eliminación de ramas no productivas sobre el crecimiento y producción de plantas de café.

Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto del corte de las ramas poco productivas del estrato bajo de la planta (desbajere) sobre la producción del cafeto. Para ello, se seleccionaron lotes de primera, segunda, tercera y cuarta cosechas. En todos se eliminaron las ramas bajas con el 20% del área foliar, y adicionalmente, en el lote de tercera cosecha se eliminó un 40% y 55% del área foliar, mientras que en el testigo no se eliminó el área foliar. Los resultados preliminares de producción muestran que en los lotes de primera, segunda (tratamientos de eliminación del 20%, 40% y 55% del área foliar) y cuarta cosecha no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos respecto al testigo; sin embargo, en el lote de tercera cosecha se observó una disminución de la producción a nivel de planta, de 3 kg de café cereza, respecto al testigo, y a nivel de parcelas, de 178 kg de café cereza, respecto al testigo (Figura 40 a y b). En los resultados parciales no se observó un cambio significativo sobre la distribución de los fotoasimilados hacia los frutos (producción) a causa de la eliminación del área foliar en relación al testigo. Aunque se observa que la producción disminuye a medida que se incrementa el nivel de poda.



**Figura 40.** Efecto en la producción de café cereza con la eliminación del área foliar, sobre la producción a nivel de planta (a) y de parcela (b).

## Poscosecha

La Disciplina de Poscosecha contribuye a los objetivos de Cenicafé y de la FNC con aportes en las áreas de cosecha, beneficio, secado, tratamiento de aguas residuales y producción de bioenergía.

### Cosecha

Actualmente se están evaluando equipos para la cosecha semi-mecanizada del café, con los cuales se espera contribuir al incremento en el rendimiento de la mano de obra utilizada ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y la reducción en el costo unitario ( $\text{\$/kg}$ ). También se investiga en tecnologías no destructivas, para estimar la producción de café en la finca y planificar la recolección de café, optimizando la mano de obra requerida.

#### Validación de métodos de recolección manual asistida y semi-mecanizada de café.

En la Estación Experimental La Trinidad (Líbano, Tolima), se realizaron evaluaciones preliminares utilizando dos máquinas portátiles Twist, en un lote de café Variedad Castillo® con distancia de siembra  $2 \times 1$  m, de quinta cosecha y con poda calavera. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: rendimiento promedio de 167 kg/jornada-operario, con valores mínimos y máximos de 128 y 204 kg/jornada-operario; 6,77% de frutos verdes en la masa cosechada en promedio, con un mínimo de 2,9% y un máximo de 13%, valores,



aceptables para el uso de estas máquinas. Los frutos caídos al suelo estuvieron entre 2,8 y 7,4 frutos/árbol, con un promedio de 5,01 frutos/árbol y los frutos maduros dejados en el árbol variaron entre 3 y 13 frutos/árbol, con un promedio de 7,49 frutos/árbol, valores cercanos a los recomendados por Cenicafé de máximo 5 frutos dejados en el suelo y 5 frutos maduros en el árbol (Figura 41). Con el equipo Twist, en las condiciones de cultivo de las evaluaciones, se observó reducción de costos de la cosecha de aproximadamente el 15% en promedio. El café cereza recolectado manualmente tuvo un costo de \$734 kg y para la recolección con los equipos el costo fue de \$632 kg café cereza en promedio, en ambos casos se incluyeron los costos del jornal con salario mínimo más prestaciones y un método de incentivo de bonos para los dos sistemas de recolección.

**Desarrollo de un sistema automático para la medición de la masa de café en rama a través de visión de máquina.** Se generó un método no destructivo para contar el número de frutos en una rama de café, usando información de imágenes digitales de un solo lado de la rama y frutos por estado de desarrollo. Para ello, se utilizaron en total 1.018 ramas de café con diferentes porcentajes de maduración, número de frutos, momentos de producción, variedad Caturra y Variedad Castillo® y edades del cafeto. Se construyó un sistema de visión de máquina (SVM) capaz de contar e identificar frutos cosechables y no cosechables en un conjunto de imágenes correspondientes a una rama de café. Este SVM está conformado por un sistema de adquisición de imágenes, basado en dispositivos móviles (no se requiere controlar las condiciones del entorno), y un algoritmo de procesamiento de imágenes para clasificar y detectar cada fruto de las imágenes



**Figura 41.** Recolección con el equipo portátil TWIST y calidad de la masa cosechada.

adquiridas. Luego de tener la información del número de frutos generada por el SVM, se construyeron modelos lineales de estimación entre los frutos detectados automáticamente y los observados en la rama de café. Estos modelos fueron calculados para frutos en tres categorías: cosechables, no cosechables y para frutos independientemente de su estado de desarrollo. Ellos relacionan uno a uno los frutos contados automáticamente con los observados realmente, con  $R^2$  superior a 0,93. El SVM es utilizado no solo para estimar el número de frutos en rama, sino también para estimar el porcentaje de maduración y peso de los frutos en ella. El SVM fue validado en cuatro lotes de café Variedad Castillo®, con diferentes edades y densidades de plantación, y se encontró que no sobreestima, ni subestima el conteo de frutos y que muestra una correlación superior a 0,90 en momentos tempranos de la cosecha, cuando todos los frutos del árbol no son cosechables.

**Desarrollo y validación de una herramienta tecnológica basada en visión de máquina y TICs para la administración de labores agrícolas en la finca cafetera.** Para la adquisición de imágenes en el campo se desarrolló un dispositivo móvil y un sujetador con el que se controla el proceso de adquisición de imágenes sobre una rama de café. Se construyó un sistema de navegación inercial (SNI) para detectar el movimiento del dispositivo móvil y controlar automáticamente la adquisición de las imágenes. Este SNI mide desplazamientos del orden de centímetros, lo que facilitaría el levantamiento de la información de manera

georreferenciada con alta resolución. Se creó una base de datos de cerca de 2.000 ramas de café, principalmente para café Variedad Castillo®, en condiciones de campo no controladas. Se realizaron desarrollos computacionales para el 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. A su vez, se construyeron algoritmos de identificación de estructuras vegetativas, como frutos, tallos, hojas y fondo, tanto en dos dimensiones (2D) como en 3D. Se avanzó en el programación de una aplicación en Android para adquirir información por rama, preprocesar las imágenes adquiridas y vincular como metadatos la información del SNI por rama procesada. Además, se han construido modelos de estimación de producción a partir de la información presente en una sola vista, correspondiente al conteo de frutos, inicialmente adquirido de forma manual y posteriormente de manera automática con el algoritmo 2D implementado. Se cuenta con una herramienta capaz de estimar, con un error del 4,4%, la totalidad de los frutos en las ramas y un coeficiente de determinación de 0,89.

## Beneficio

Se están evaluando tecnologías para la separación de granos defectuosos en café húmedo, se está elaborando diseños de beneficiaderos amigables con el medio ambiente y se están evaluando un método para el manejo de las aguas residuales del lavado del café en la tecnología Ecomill®.

**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® 500, instaladas en los beneficiaderos construidos en las fincas “El Encanto”, “La Tesalia” y “La Francia”, del municipio de Salamina (Caldas), de acuerdo a los planos arquitectónicos 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 mucílago. El promedio de frutos maduros y sobremaduros de café cereza sanos recibidos en la tolva fue de 86,3%, 87,6%, 81,8% para las fincas “El Encanto”, “La Tesalia” y “La Francia”, respectivamente. El alto porcentaje de frutos sobremaduros (45,2%) influyó en el daño mecánico ocasionado por la máquina. Respecto al flujo de café lavado ( $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ), los valores encontrados para las fincas “El Encanto” y “La Tesalia”, están acordes al desempeño reportado en las evaluaciones de los equipos reportados por Cenicafé. En el caso de la finca “La Francia”, este valor es de  $414 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  de café lavado, ligeramente inferior al reportado ( $435 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ), aunque aceptable. La diferencia entre los valores aforados y calculados del flujo de café lavado fue del 5,0%, 2,6% y 0,8% para las fincas “El Encanto”, “La Tesalia” y “La Francia”, respectivamente. En el caso del resultado para la finca “La Francia”, el consumo fue de  $0,56 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1}$  por cps, que está dentro del rango y con el cual es posible lograr el 100% del control de vertimientos. Se observó la correcta disposición de los subproductos pulpa y mucílago, y que los sistemas de procesamiento de subproductos están diseñados para las capacidades de las fincas. Las obras se ejecutaron de acuerdo a los diseños arquitectónicos (Figura

42) 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.** Con la asesoría técnica de Cenicafé, se realizó el nuevo diseño, construcción, montaje de la estructura del techo, instalación de la cubierta y de la fachada, de la central comunitaria en el municipio de Belén de Umbría (Risaralda), entre los meses de septiembre de 2015 y junio de 2016 (Figura 43).

Una vez instalada la cubierta se realizó el montaje de los equipos y la instalación de la energía eléctrica. Actualmente, se trabaja en la puesta a punto de los equipos, antes de pasar a la evaluación de la planta completa (Figura 44). También se terminó de construir el lugar donde se van a procesar la pulpa y el mucílago del café, el cual fue terminado en la última semana de septiembre (Figura 45). Hasta el momento solamente se han procesado 2.000 kg de café en cereza, haciendo los ajustes y correctivos que se han requerido.

#### **Visión artificial para la clasificación de café lavado.**

Se evaluaron los algoritmos para la identificación de café brocado, café inmaduro, café con fermento avanzado, café con daño mecánico y café negro, por separado (Tabla 4), y se puso la máquina a punto con el algoritmo para separación de café lavado afectado por la broca. Se terminó el sistema de alimentación y orientación



**Figura 42.** Diseño arquitectónico del beneficiadero ecológico de café con ECOMILL®.



**Figura 43.** Estado final de la cubierta y de la fachada de la Central de Beneficio de Café de Belén de Umbría (Risaralda).

de granos, con una eficacia de orientación de los granos con la superficie plana hacia arriba, superior al 80%. También se hizo la sincronización del sistema de eyección con el sistema de identificación, logrando una capacidad de eyección de  $15 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  con granos brocados, y una eficacia de separación del 76%. En la Figura 46 puede observarse el estado final de la máquina con todas las partes integradas y en la Figura 47 la imagen virtual creada en programas de diseño asistido por computador.

**Control de la contaminación producida por las aguas residuales del lavado del café obtenidas con la tecnología ECOMILL®.** Se evaluó la adición de las aguas residuales del lavado del café (ARLs) resultantes de la tecnología ECOMILL® a la pulpa del café, como alternativa para eliminar el impacto ambiental (Figura 48a). La investigación se realizó

en dos Etapas. En la Etapa 1 se determinó la retención considerando tres relaciones de pulpa de café y ARLs (masa:volumen) de 2:1, 2,5:1 y 3:1. En la Etapa 2 se evaluaron dos tecnologías para su adición a la pulpa por medio de la mezcla con tornillo sinfín y aspersión. En los ensayos realizados en la Etapa 1 no se observó diferencia estadística entre los promedios de drenaje de ARLs obtenidos en los tratamientos evaluados, variando entre 10,8% y 16,7%. En promedio se retiene entre 83% y 89% del volumen de ARLs adicionado a la pulpa del café en las primeras 24 h (Figura 48b). Los fluidos que no son retenidos en la pulpa en las primeras 24 h pueden adicionarse nuevamente a la pulpa con su retención total, evitando la producción de vertimientos por el lavado del café.

## Secado

La Disciplina está evaluando la tecnología para el secado del café que permita obtener un producto de mejor calidad física y en taza, con mejor eficiencia térmica.



**Figura 44.** Interior de la Central de Beneficio de Café de Belén de Umbría, con todos los equipos instalados.



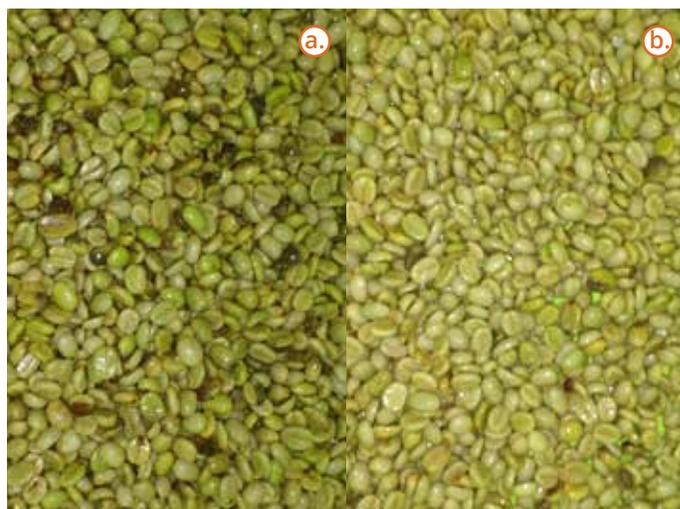
**Figura 45.** Recinto para el procesamiento de pulpa y mucílago.

**Tabla 4.** Eficacia de identificación de los diferentes defectos.

Defecto	Eficacia de separación
Café brocado	91%
Café con fermento avanzado	87%
Café inmaduro	87%
Café con daño mecánico	91%



**Figura 46.** Máquina para la clasificación de café lavado.



**Figura 47.** a. Aspecto del café sin clasificar y b. clasificado en la máquina para la clasificación del café lavado.



**Figura 48.** a. Mezcla de ARLs de Ecomill® con pulpa del café; b. Retención de ARLs en pulpa con relación 2:1 (masa de pulpa/volumen de ARLs) a las 24 h.

ensayos, con promedios de temperatura de aire de secado de 68,2, 78,2 y 53,1°C, flujo de aire de 8,8, 7,6 y 9,7 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> y flujo másico de granos a través del secador de 253,3, 236,3 y 248,1 kg.h<sup>-1</sup> de café. Se registró que con un promedio de temperatura del aire de secado de 53,1°C se obtuvo café seco con temperatura máxima de 41°C y pergamino con aspecto similar al que se observa en el secado en silos (Figura 49b). La eficiencia térmica en los ensayos fue 4,16; 4,97 y 5,77 MJ.kg<sup>-1</sup> de agua evaporada.

## Bioenergía

Actualmente se investiga la producción de energía partir de la madera del café y de los subproductos del beneficio.

**Disminución de los alquitranes producidos en la gasificación de la madera del cafeto.** Se están evaluando alternativas primarias como control de la producción y craqueo de alquitranes dentro del reactor, y secundarias

**Secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino.** Se diseñó un secador de flujos concurrentes e intermitente para café, con capacidad para 62 kg de cps, denominado secador IFC-62 (Figura 49a). Se realizaron ajustes al diseño inicial del secador para lograr que toda la masa de café fluya a través del equipo, sin que se presente adherencia de algunos granos en superficies internas de las cámaras de secado y de reposo y en la tolva de descarga al inicio del proceso, y para permitir el funcionamiento del sistema de transporte de granos (banda horizontal y elevador de cangilones). Se realizaron tres



**Figura 49.** Secador intermitente de flujos concurrentes diseñado para café pergamino - IFC 62 (a), café pergamino transportado en la banda reguladora de flujo de café a través del secador (b).

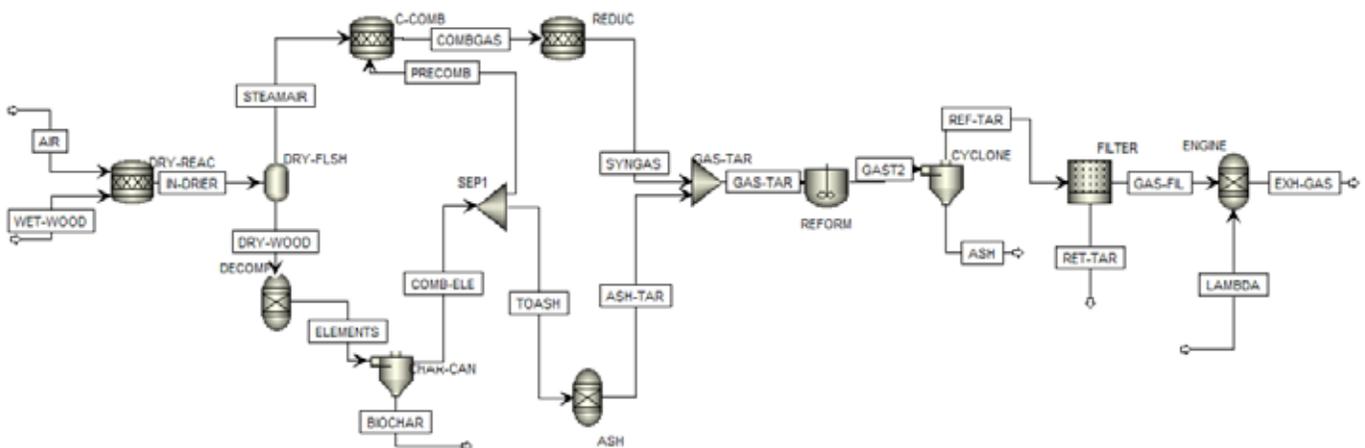
un promedio del consumo de biomasa igual a  $15 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $0,494 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  de biocarbón producido y  $0,072 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$  de sólidos retenidos en el ciclón. Adicionalmente se determinó una densidad aparente de  $227,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  y una densidad de partículas de la madera de  $802 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , con fracciones de vacío de 0,716 y 0,305, respectivamente. La temperatura en la zona de combustión alcanzó un valor promedio de  $820^\circ\text{C}$ . A partir de estas variables se desarrolló un modelo de simulación utilizando el software Aspen Plus V 7.3 (Figura 50).

El modelo consta de cinco etapas, así:

1. El secado, donde se producen  $0,1144 \text{ kg}$  de vapor de agua por cada kilogramo de biomasa.
2. La devolatilización o pirólisis, en donde la madera seca se descompone en sus componentes fundamentales, generando  $0,351, 0,032, 0,037, 0,411$  y  $0,024 \text{ kg}$  de  $\text{O}_2, \text{N}_2, \text{H}_2,$

como son los dispositivos mecánicos o físicos de retención de alquitranes posterior al reactor, con el fin de reducir la concentración de alquitranes en el gas combustible y la afectación a los componentes del sistema, principalmente al

motor de combustión interna, para garantizar el suministro ininterrumpido de energía eléctrica. Se realizaron pruebas de 3, 6, 9, 12 y 24 h de operación continua, en donde se midió el caudal de gas producido correspondiente a  $90 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , con



**Figura 50.** Modelo de simulación en Aspen Plus V 7.3 para el equipo Power Pallet con gasificador de flujo descendente de gases.

C y S, respectivamente, por cada kilogramo de madera alimentada.

3. Las reacciones de combustión y reducción, en donde se consume todo el carbono sólido y se produce el gas de síntesis con una composición (Tabla 5).
4. El craqueo de alquitranes. En esta etapa se efectuaron análisis de sensibilidad en los que se varió la temperatura desde los 500 hasta 1.100°C observando un incremento desde 0,26 a 0,29 kmol.h<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub> y de 0,26 a 0,34 kmol.h<sup>-1</sup> de CO con la correspondiente disminución en la concentración de alquitranes.
5. La retención, en donde se evaluó el filtro de madera del sistema a través de la creación de un bloque de usuario, en el cual se registró una retención de alquitranes de 1.039 ppm, equivalente a un porcentaje de retención del 5%.

Debido a la imposibilidad de modificar condiciones de operación del equipo como el flujo de aire que ingresa a la zona de combustión

**Tabla 5.** Composición del gas obtenido en el modelo.

Componente	% v/v
H <sub>2</sub>	20,43
CO	19,67
CO <sub>2</sub>	9,70
CH <sub>4</sub>	0,7
N <sub>2</sub>	43,11
O <sub>2</sub>	4,16
H <sub>2</sub> O	1,58

y las temperaturas en las zonas de combustión y de reducción se descartó el uso de métodos primarios. Por consiguiente, se emplearon los siguientes métodos secundarios para la retención de alquitranes antes de su entrada al motor: instalación de un intercambiador de calor, recubriendo el ciclón; el reemplazo del filtro de madera por carbón activado y la instalación de un filtro de carro con campana antes de la combustión del gas.

La medición de alquitranes se efectuó a través de equipo de medición directa de compuestos orgánicos volátiles (MultiRAE lite) y se comparó con el perfil de solventes determinado a través de bomba GilAir® Plus. El esquema de medición consistió en determinar el efecto del intercambiador, del filtro de carro y su combinación sobre la concentración de alquitranes con el filtro de madera convencional, y posteriormente medir el efecto de los controles mencionados y su combinación utilizando filtro de carbón activado. Se encontró que la caída de presión con el filtro de carbón activado era tal que impedía la operación normal del equipo, imposibilitando la medición de los efectos mencionados.

**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 (etanol y butanol), utilizando como sustrato el mucílago del café obtenido del beneficio ecológico con cero vertimientos, procesado con

Becolsub, Ecomill® (20 y 16 h de fermentación), Ecomill® con enzima y tanque tina (primera y segunda cabeza de lavado), se realizaron diferentes avances.

En cuanto a la producción de bio-etanol se estandarizaron las técnicas de detección de azúcares por HPLC y la detección de alcoholes por cromatografía de gases, los cuales resultan ser fiables para la repetitividad y, por ende, en la confiabilidad de los resultados. El efecto de la esterilización en autoclave (15 min. a 120°C y 15 psi) del mucílago, no causó reducción drástica en la concentración de azúcares disponibles para la fermentación por parte de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), lo que permitió un mayor entendimiento de los procesos fermentativos y dinámicas ocurridas en el consumo de azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa; sin embargo la disponibilidad de azúcares varió, dependiendo del origen del sustrato, al igual que la dinámica de su consumo en el tiempo, viéndose afectada la producción final de etanol posterior a su destilación. Durante los procesos de fermentación, para cada uno de los sustratos se logró establecer la relación entre el crecimiento vegetativo de la levadura (dado por el número de Unidades Formadoras de Colonia), la absorbancia (660 nm), el consumo de azúcares (g.día<sup>-1</sup>) y la producción de etanol (mL) durante 36 h de fermentación. Se notó una diferencia significativa en los productos comerciales que contienen la levadura *Saccharomyces* spp, lo que obliga a estandarizar metodologías de aislamiento, purificación

e inoculación dentro de los procesos de fermentación.

En cuanto al uso de *Clostridium saccharobutylicum*, para la producción de bio-butanol, se implementó su desarrollo en medios líquidos (medios de mantenimiento y fermentación) y en medios sólidos como Agar Nutritivo, Agar Sulfito-Polimixy-Sulfadiazina, Agar Rogosa y Agar LB, este último favoreciendo significativamente su desarrollo y multiplicación, bajo condiciones de anaerobiosis estricta. Los avances anteriores, permitieron establecer relaciones entre el crecimiento de la bacteria (peso seco) y su absorbancia (600 nm). Teniendo en cuenta que la fermentación llevada a cabo por la bacteria corresponde a una fermentación AEB (Acetona-Etanol-Butanol), por cromatografía de gases se elaboraron los perfiles de producción de 1-butanol; 2-butanol; iso-butanol; ter-butanol; butiraldehido; iso-butanal; 1-propanol; iso-propanol; y acetona, lo cual permitirá conocer el patrón bioquímico que utiliza *C. saccharobutylicum* durante el consumo del mucílago de café para la producción de bio-butanol.

La implementación de alternativas como la bio-transformación de la biomasa energética proveniente del beneficio ecológico del café con cero vertimientos, permitirá que además de reducir el impacto al medio ambiente al disponerla de forma inadecuada contaminando el suelo y las fuentes de agua, aumenten los ingresos a la cadena productiva del café y colaborar con la mitigación de

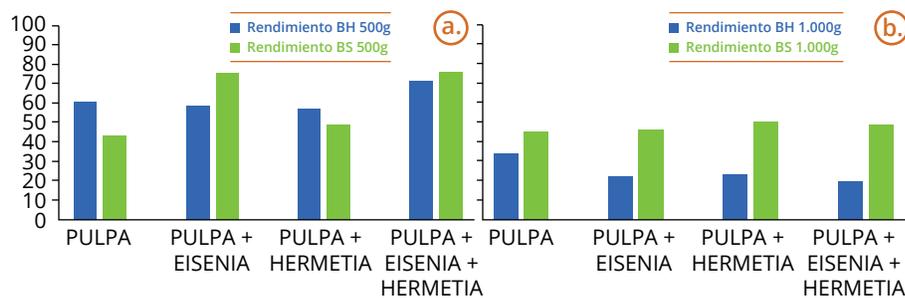
necesidades energéticas que tienen muchas familias cafeteras de Colombia. El conocimiento generado, tendrá aplicabilidad relevante dentro de las iniciativas lideradas por la Federación Nacional de Cafeteros, como el de las Centrales de Beneficio Comunitarias.

## Aprovechamiento de subproductos

Se están investigando tecnologías para la producción eficiente de abono orgánico y proteína para alimentación animal a partir de la pulpa del café.

**Evaluación de métodos de transformación de la pulpa de café.** Con el fin de valorizar la pulpa de café y obtener abono orgánico y proteína para alimentación animal, se evaluó el efecto de la larvicultura (utilizando la mosca soldado negra, *Hermetia illucens*), la lombricultura (utilizando la lombriz roja, *Eisenia foetida*) y una mezcla de larvas y lombrices. Se evaluaron cuatro tratamientos, con diez réplicas cada uno, en la descomposición de pulpa de café fresca. La unidad experimental estuvo conformada por 0,5 y 1,0 kg de sustrato. El tratamiento 1 fue el testigo con pulpa sola; el tratamiento 2 contenía 17,5 y 35 g de lombriz roja; el tratamiento 3, contenía 17,5 y 35,0 g de *Hermetia illucens* por réplica; el tratamiento 4 contenía 8,75 y 17,5 g de *H. illucens* y 8,75 y 17,5 g de lombriz roja/réplica.

Los mayores rendimientos medios del proceso de transformación, en base seca, se alcanzaron después de 25 días, en las muestras de 500 g en el tratamiento 4 (pulpa + *H. illucens* + lombriz) y el tratamiento 2 (pulpa + lombriz), con valores del 76,26% y 75,73%, respectivamente. El tratamiento testigo, aún sin descomponerse completamente, conformado por pulpa de café fresca presentó un rendimiento medio, en base seca, del 43,52% (Figura 51a). Los mejores rendimientos medios del proceso de transformación, en base seca, se alcanzaron después de 29 días, en las muestras de 1.000 g en el tratamiento 3 (pulpa + *H. illucens*) y el tratamiento 4 (pulpa + *H. illucens* + lombriz) con valores del 50,32% y 48,73%, respectivamente. El tratamiento testigo, aún sin descomponerse completamente, conformado por pulpa de café fresca, presentó un rendimiento medio, en base seca, del 45,13% (Figura 51b).



**Figura 51.** Rendimientos de los procesos de transformación de la pulpa de café. **a.** Rendimientos en los tratamientos de 500 g; **b.** Rendimiento en los tratamientos de 1.000 g. BH: Base húmeda; BS: Base seca.

## Tratamiento de aguas residuales

Se están investigando tecnologías para la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales del beneficio del café.

**Evaluación de productos químicos para el tratamiento de aguas residuales.** Con el fin de generar alternativas para el tratamiento de aguas residuales del beneficio del café que permitan disminuir los tiempos de proceso y el tamaño de las plantas de tratamiento, se evaluó la utilización de sales químicas como tratamientos primarios y secundarios.

Para el tratamiento primario se utilizaron diferentes fuentes de calcio como cal dolomita (carbonatos de calcio y magnesio), cal nare (óxidos de calcio y magnesio) y cal agrícola (hidróxido de calcio), con el fin de ajustar el pH de las aguas residuales para hacerlas aptas para el tratamiento secundario. El tratamiento primario con cal agrícola, a una dosis de 3.000 ppm, permitió disminuir la concentración de DQO en valores medios cercanos al 50%, en menos de 24 h.

Al agua proveniente del tratamiento primario se le adicionaron sales de aluminio (Figura 52). El tratamiento secundario con cloruro de aluminio, a una dosis de 0,75 g en 500 mL (1.500 ppm), permitió disminuir la concentración de DQO del agua afluyente en valores medios entre el 60% y el 65%, en menos de 24 h.

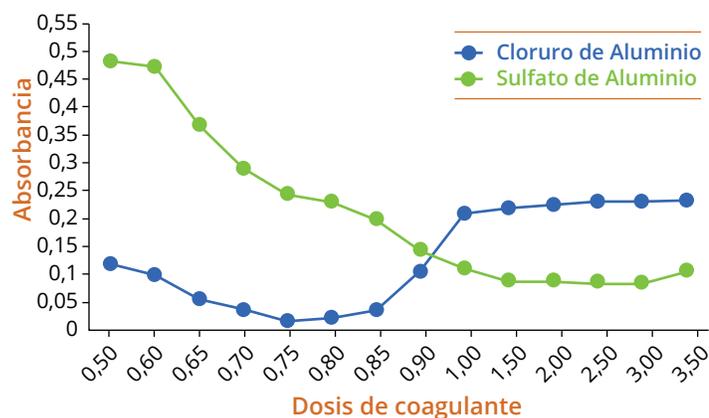
## Proyecto Gestión Inteligente del Agua (GIA)

### Plan de mejoramiento en beneficio

**Implementaciones en el plan de beneficio.** Con el acompañamiento y asesoría de Cenicafé, los Comités de Cafeteros de los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas y Nariño, realizaron 531 intervenciones de implementación de tecnologías limpias: 5,3% correspondieron a despulpadoras, 21,3% en tolvas

secas, 22,3% en módulos de beneficio completos, 25,5% en fosas y el 25,5% para tanques tina. Estos porcentajes aseguran el cumplimiento del indicador de desempeño (KPI's) del programa GIA, que establece un ahorro mínimo del 10% en el consumo de agua.

Por departamento se determinó que en el departamento del Cauca el 60% de las intervenciones se dirigieron a la construcción de tolvas secas (102 unidades) y el 17% a tanques tinas, lo cual permitió un ahorro en el consumo de agua de 16,2%. En Nariño el 50% de las intervenciones se direccionaron a la implementación de tanques tinas (88 unidades), que reflejan un ahorro en el consumo de agua del 49%. En Caldas se realizaron 115 intervenciones, especialmente en módulos completos de beneficio, que conllevan a un ahorro en el consumo de agua de 46,2%. Para Antioquia, con 68 intervenciones se realizó en módulos completos de beneficio, hubo una reducción en el consumo de agua del 32,8%. El porcentaje promedio



**Figura 52.** Curvas de absorbancia y aspectos del agua residual del café tratada con sales de aluminio.

de reducción en el consumo de agua para los cuatro departamentos fue del 35%.

**Selección de grupos de caficultores para la implementación de beneficiaderos comunitarios.**

En el plan de mejoramiento en beneficio ecológico de café, la Federación Nacional de Cafeteros invitó a los Comités a presentar grupos asociativos que tuvieran perfil para este tipo de intervenciones. Se recibieron quince propuestas, las cuales se caracterizaron así:

- Once propuestas con producción entre 1.540 - 3.514 @ de cps al año, con 7 a 25 productores, principalmente en los departamentos de Cauca y Nariño.
- Tres propuestas, una en el Valle del Cauca y dos en Antioquia, en el rango de 6.408 a 7.544 @ de cps al año, con un número de productores entre 19 a 35.
- Una de 13.293 @ de cps al año que cubriría potencialmente a 64 caficultores, para Antioquia.

Por el número de caficultores y los recursos disponibles por parte del programa GIA, se seleccionaron cuatro propuestas del departamento del Cauca y tres para Nariño. Los grupos seleccionados reúnen condiciones similares a los Grupos Asociativos de cafeteros del departamento del Huila, donde ya se ha instalado la tecnología ECOMILL®. Actualmente se adelantan reuniones con los grupos seleccionados

para definir la intervención, con el acompañamiento del Comité de Cafeteros de estos departamentos.

**Apoyo al proyecto Performance "NESPRESSO".**

Para el proyecto "Performance" se diseñó y acompañó el montaje de tres sistemas ECOMILL® 500, en igual número de fincas del municipio de Salamina (Caldas). Para estas implementaciones, se evaluó el desempeño operacional de los equipos e infraestructura instalada, en relación a la caracterización de la masa de café cereza cosechada, caracterización del trabajo de la despulpadora # 2½ de pechero ajustable y zaranda de lámina troquelada, caracterización del desempeño de trabajo del equipo ECOMILL® 500, caracterización del desempeño del módulo completo y observación del manejo de subproductos. Los equipos con las correcciones sugeridas por Cenicafé, presentaron el desempeño esperado en calidad del desulpado y lavado, consumo de energía eléctrica, consumo de agua y control del 100% de la contaminación.

**Determinación de la calidad de aguas superficiales en las microcuencas del Programa GIA.**

Con el objetivo de evaluar la calidad y la cantidad de agua de las 25 microcuencas que conforman el programa GIA y analizar los cambios de comportamiento biológico, fisicoquímico y de hábitat, se realizaron el segundo y tercer monitoreos de calidad de aguas superficiales.

El segundo monitoreo presentó en promedio, para

los puntos uno (antes de intervención cafetera), un valor del índice de calidad fisicoquímico ICA-NSF de 72 (correspondiente a una calidad buena); un valor del índice de calidad biológica BMWP/Col de 79 (correspondiente a una calidad buena) y un valor del índice de valoración de hábitat de 7,2 (correspondiente a una calidad buena). Para los puntos dos (después de pasar por zona cafetera), el valor del índice de calidad fisicoquímico ICA-NSF fue de 69 (correspondiente a una calidad media), el valor del índice de calidad biológica BMWP/Col fue de 67 (correspondiente a una calidad media) y el valor del índice de valoración de hábitat fue de 6,1 (correspondiente a una calidad media).

El índice global de calidad del agua (KPI) en las 25 microcuencas de estudio, tuvo valores para los puntos uno entre 0,52 (calidad media) en la microcuenca de Rosas (Cauca) y 0,84 (calidad buena) en las microcuencas de Balboa (Cauca) y Marquetalia (Caldas). En promedio, el valor del índice global para los puntos uno de monitoreo fue de 0,69 correspondiente a una calidad media. Para los puntos dos, el valor estuvo entre 0,44 (calidad mala) para la microcuenca de La Unión (Nariño) y 0,76 (calidad buena) para la microcuenca de Pueblorrico (Antioquia). En promedio, el valor del índice global fue de 0,61 (correspondiente a una calidad media).

Al comparar los resultados del tercer monitoreo con los obtenidos en los monitoreos anteriores, para los puntos uno

se encontró una reducción del 7% en el valor medio del índice global KPI con respecto a los monitoreos uno y dos (valores de 0,74). Para los puntos dos, se encontró una reducción del 8% en el valor medio del KPI respecto al segundo monitoreo (0,66), sin cambios con respecto al primer monitoreo (0,61).

La afectación en la calidad de los cuerpos de agua de las 25 microcuencas del programa GIA, entre los puntos uno y dos, fue del 18% para el primer muestreo, del 11% en el segundo y del 12% en el tercero, en promedio, mostrando una recuperación de los mismos influenciada por los programas de capacitación a los caficultores de las cuencas y por las intervenciones del programa GIA, en aspectos como reforestación, bioingeniería, conservación de suelos, beneficio ecológico y tratamiento y ahorro de agua en las fincas cafeteras.

**Tratamiento y ahorro de agua en fincas del programa GIA.** Con el fin de suministrar agua potable a bajo costo en fincas cafeteras del programa GIA, se evaluaron tres tipos de filtros con diferente tamaño de poros entre 20 y 100 nm y el proceso de destilación, evaluando la calidad del agua obtenida, con base en los parámetros de la Resolución 2115 del 2007 y el costo del proceso de purificación. Los resultados permiten concluir que es posible obtener agua potable a través de los sistemas de filtración, siempre y cuando el agua que ingrese al filtro tenga un valor de calidad superior a 70, según la escala del valor del

índice ICA-NSF (categorizada como calidad buena), que se utilicen filtros con un tamaño de poro inferior a 100 nm y que se realice el mantenimiento y retrolavado del filtro permanentemente, con el fin de mantener su efectividad. La destilación casera del agua también es una alternativa eficaz para la obtención de agua potable, sobre todo si puede realizarse aprovechando la energía no utilizada de los fogones de leña de las cocinas campesinas.

#### **Optimización del desempeño de los Sistemas Modulares de Tratamiento Anaerobio.**

Con el fin de asegurar el funcionamiento permanente del SMTA se diseñaron y evaluaron nuevos dispositivos que permiten un flujo continuo, evitando los taponamientos del sistema, tales como: el alimentador circular con disipadores de energía que se ubica en la parte inferior, a la entrada del reactor hidrolítico, y que evita la resuspensión del material sedimentado; el cuello de ganso ubicado a las 2/3 partes de la altura del reactor hidrolítico, que

facilita la toma del agua de la parte media del reactor, la cual presenta bajo contenido de sólidos suspendidos y la trampa de sólidos, ubicada antes de la salida de la recámara dosificadora, que permite retener sólidos que puedan ocasionar taponamientos en el reactor metanogénico (Figura 53).

**Determinación de la huella hídrica asociada a la producción del café.** Se determinó la huella hídrica del café de Colombia en la etapa de germinador, en sus colores verde, azul y gris, en las Estaciones Experimentales Naranjal (Caldas), El Rosario (Antioquia) y El Tambo (Cauca), con las Variedades Castillo® Regionales. Para ello se construyó un germinador de 1,5 m<sup>2</sup>, se sembró 1 kg de semilla, y diariamente se registró la pluviosidad en la Estación, con el fin de determinar la Huella Hídrica Verde. Mediante la utilización de un medidor se cuantificó la cantidad de agua utilizada en el riego del germinador, con el fin de determinar la Huella Hídrica Azul, y se recolectaron, midieron y caracterizaron



**Figura 53.** Nuevos dispositivos de los SMTA.

los drenados generados en el germinador con el fin de determinar la Huella Hídrica Gris.

Se determinó la evapotranspiración utilizando la fórmula del balance hídrico, siendo las entradas la pluviosidad y el riego, y las salidas la evapotranspiración, la escorrentía y el agua retenida en el sustrato y la incorporada en los tejidos de las chapolas obtenidas (Tabla 6).

**Tabla 6.** Cálculo de la evapotranspiración en el germinador.

Balance hídrico (L)			
Estación	Entradas	Salidas	ETR
Naranjal	1307,3	735,1	572,3
El Tambo	909,5	424,7	484,7
El Rosario	932,5	457,3	475,2

En la Tabla 7 se presentan los resultados del cálculo de la Huella Hídrica del café de Colombia en la etapa del germinador.

**Evaluación de coagulantes naturales para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café.** Con el propósito de generar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales del beneficio del café, se seleccionaron especies vegetales con capacidad de depuración, tales como: moringa (*Moringa*

*oleifera*), cadillo (*Triumpheta lappula*), balso (*Heliocarpus popayanensis*), jatropha (*Jatropha curcas*) y astromelio (*Hibiscus rosa sinensis*).

Para realizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales del beneficio se realizó una primera etapa de extracción del compuesto coagulante para cada una de las plantas seleccionadas. Para jatropha y moringa se realizó la extracción de grasas utilizando etanol (10% P/V) y la extracción de la proteína utilizando cloruro de sodio. En el caso del cadillo, balso y astromelio, se obtuvo el mucílago y se sometió a operaciones de licuefacción, filtración, extracción en etanol y secado del extracto (Figura 54).

Hasta el momento las evaluaciones se han realizado utilizando *Moringa oleifera* dado que es la planta que reporta mayor poder coagulante. Para los ensayos de coagulación se está utilizando agua residual del café con 12.500 ppm de DQO a dos condiciones de pH (el original del agua residual y en el rango neutro). Se evaluó el efecto coagulante de la semilla antes y después de las extracciones, encontrándose mejores resultados en la semilla en polvo sin extracción de grasas y proteína, y en el agua residual del café ajustada a pH en el rango neutro. De acuerdo a los resultados obtenidos, las dosis óptimas del coagulante se encuentran entre 3 y 3,6 g (en 500 mL de agua residual), que han permitido disminuir la DQO entre un 65% y un 75%.

**Tabla 7.** Valor de la Huella Hídrica del café de Colombia. Etapa germinador.

Huella Hídrica del café de Colombia. Etapa de germinador. (L/kg <sup>-1</sup> de semilla)				
Estación	Huella Azul	Huella Verde	Huella (Azul + Verde)	Huella Gris
Naranjal	254	353	607	2.802
El Tambo	171	362	533	1.510
El Rosario	336	178	514	1.678



**Figura 54.** Extracción del compuesto coagulante en las diferentes plantas.

## Mejoramiento Genético



### Evaluación de Germoplasma

**Identificación de accesiones de *Coffea arabica* tolerantes a déficit hídrico.** En Colombia, la producción de café es influenciada por condiciones asociadas a los eventos climáticos de La Niña y su alternancia con los eventos de El Niño. Una alternativa para mitigar sus posibles efectos negativos es la obtención de variedades tolerantes a estrés hídrico, para lo cual es necesario identificar en la Colección Colombiana de Café (CCC), introducciones tolerantes al déficit de humedad. En la Disciplina de Mejoramiento, actualmente se está desarrollando un experimento para definir el tratamiento de déficit hídrico y el tiempo de su aplicación, para lo cual se midió la humedad del suelo y la capacidad de campo, y con esta información se definieron los tratamientos: plantas control con riego normal, a las cuales se

les aplicó riego a capacidad de campo y las plantas sometidas a déficit hídrico a las que se les redujo el riego al 50% de la capacidad de campo; en estos tratamientos se están evaluando cuatro accesiones, tres Etiópes (E.177, E.480 y ET.56) y una variedad comercial (Típica), bajo un diseño completamente al azar y 20 repeticiones, en las cuales se están midiendo la altura, el número de hojas, el peso seco del tallo, la raíz y el peso seco total (biomasa).

Antes de iniciar la aplicación de los tratamientos se midió la altura y el número de hojas de todas las plantas, y la biomasa de 20 plantas de cada uno de los cuatro genotipos evaluados. El análisis de varianza mostró diferencias significativas a favor de la variedad Típica para las variables de altura y número de hojas (Tabla 8). Según la prueba de Duncan, los pesos secos de la raíz y del tallo y el peso seco total de la accesión ET.56 son menores en comparación con el de la variedad Típica. Mientras

que las accesiones E.177 y E.480 tuvieron los pesos secos de la raíz, del tallo y total similares a los de Típica (Tabla 8).

### Estudio sobre la regulación del metabolismo involucrado en la asimilación del nitrógeno inorgánico en *C. arabica*.

Las plantas cultivadas son utilizadas especialmente por el contenido proteico y la producción de biomasa, por lo que requieren de grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos. Solamente la tercera parte del fertilizante es absorbida por la planta mientras el resto se pierde. Debido a que los fertilizantes nitrogenados están asociados a los altos costos de producción de los cultivos agrícolas de alto rendimiento y que son fuente de daño ambiental, existe el interés por el mejoramiento genético y/o la manipulación genética del metabolismo del nitrógeno en mejorar su eficiencia. Este estudio es una aproximación al conocimiento del metabolismo de asimilación del nitrógeno en el café, desde la perspectiva de su regulación por el 2-oxoglutarato, un intermediario del ciclo de Krebs, que coordina el metabolismo del nitrógeno y el carbono, bajo el control de genes de factores de transcripción "Dof", en varias especies vegetales. Para ello, se evaluó el efecto del 2-oxoglutarato (2-OG) sobre la actividad de las enzimas glutamina sintetasa, glutamato sintasa, isocitrato deshidrogenasa, fosfoenol piruvato carboxilasa y hexoquinasa, las cuales están

**Tabla 8.** Promedio de la altura, número de hojas, peso seco del tallo y raíz, y peso seco total de cuatro genotipos (E.480, E.177, ET.56 y la variedad comercial Típica), previo a la aplicación de los tratamientos de estrés hídrico.

Genotipo	Altura (m)	Número hojas	Peso seco tallo (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)
Típica	28,38± 5,37 A	14,63± 1,39 A	4,87±2,34 A	0,93±0,55 A	5,80±2,80 A
E.480	24,21± 5,42 B	13,25± 1,48 B	4,11±1,98 AB	0,70±0,47 A	4,82±2,34 AB
E.177	22,63± 6,47 C	12,22± 1,64 C	4,12±2,43 AB	0,65±0,31 A	4,78±2,64 AB
ET.56	19,32± 5,41 D	11,84±1,47 D	2,95±2,07 B	0,34±0,33 B	3,29±2,39 B

involucradas en la asimilación del nitrógeno y el carbono, y se analizó la expresión relativa del gen del factor de transcripción *Dof1* en respuesta al tratamiento con 2-oxoglutarato en hojas y raíces de *C. arabica* Variedad Castillo®. Se usaron plántulas cultivadas bajo condiciones hidropónicas. Cada réplica experimental estuvo constituida por 12 plántulas distribuidas para los tratamientos de la siguiente manera: cuatro con el tratamiento de ácido a-cetoglutárico 2,5 mM, cuatro con 5 mM, y cuatro sin la adición de ácido a-cetoglutárico. En los resultados del análisis de varianza, a un nivel  $\alpha = 0,05$ , la pruebas F para raíz y para hojas fueron significativas e indicaron diferencias en la actividad de la glutamina sintetasa (GS), glutamato sintasa (GOGAT) y el isocitrato deshidrogenasa (ICDH) en respuesta al tratamiento aplicado de 2-OG (Figura 55a-f). Del análisis de varianza, a un nivel  $\alpha = 0,05$ , la prueba F para raíz no fue significativa e indicó que no hubo diferencia en la actividad de la fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) en respuesta al tratamiento, mientras que fue significativa para hojas (Figura 55g-h). La prueba de Tukey-Kramer determinó que las medias de las actividades enzimáticas de GS, GOGAT, ICDH y PEPC de los tratamientos con

2-OG fue mayor a la media del control, asumiendo un nivel de significancia del 5%. También se realizó un análisis con la herramienta de bioinformática para identificar secuencias ortólogas del factor de transcripción *Dof* en *Coffea* sp. Se identificó un gen ortólogo al gen *Dof1* de maíz y se determinó que su expresión fue significativamente mayor en las raíces que en las hojas de plántulas de café. Se obtuvo la secuencia completa del gen *Dof* en el genoma de *C. arabica* así como sus formas alélicas, siendo el primer reporte en la literatura de la secuencia completa del gen para esta especie. La identificación de este gen es un aporte promisorio de la investigación en la búsqueda de marcadores genéticos en café, ligados a la eficiencia en el uso del nitrógeno.

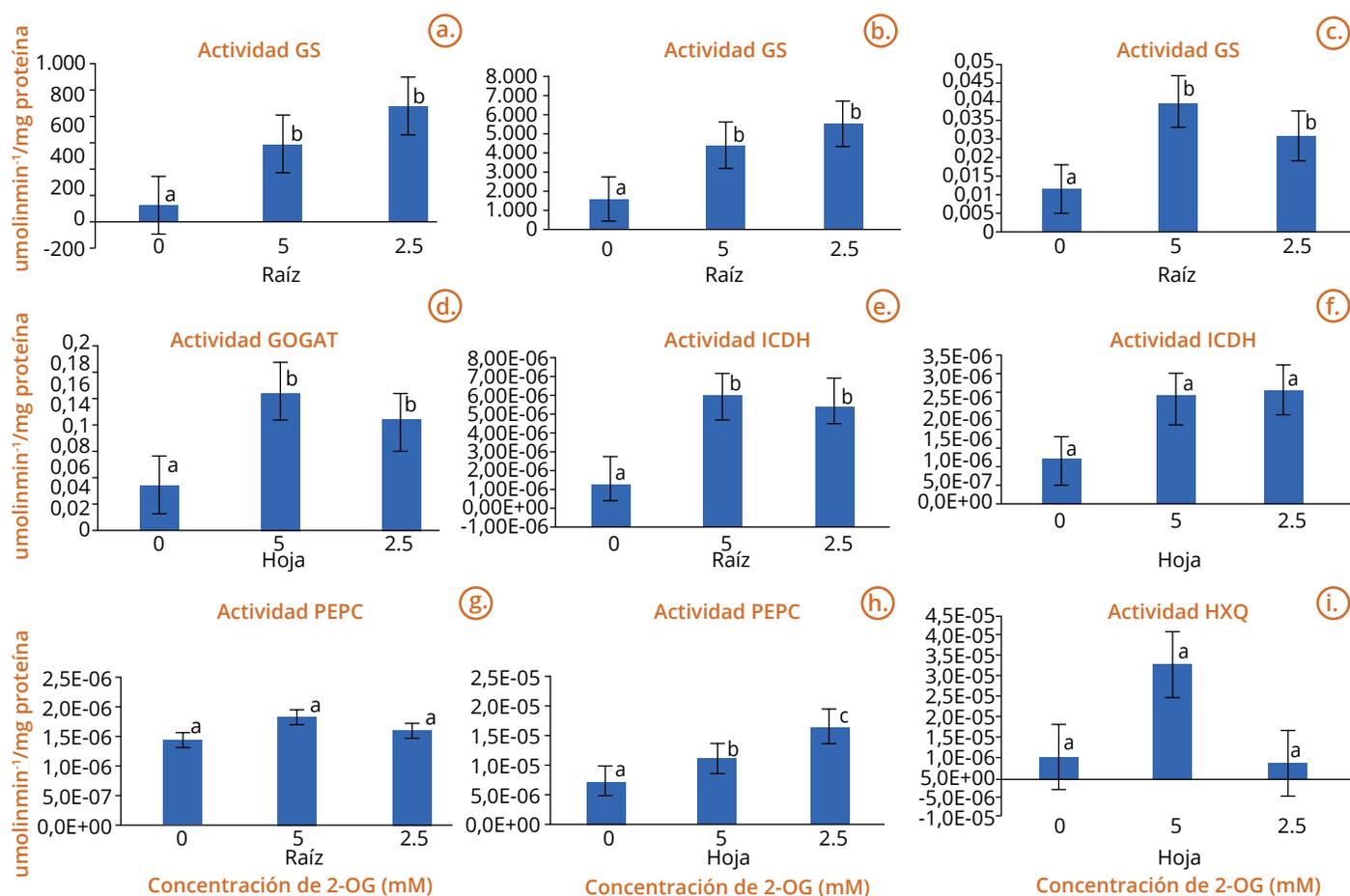
### Desarrollo y evaluación de poblaciones mejoradas

**Desarrollo y evaluación de poblaciones con resistencia a CBD (*Colletotrichum kahawae*).** El objetivo de este trabajo es desarrollar poblaciones con diferentes fuentes de resistencia y hacer evaluación por características agronómicas a las poblaciones existentes y a las que se desarrollen a

partir de otras fuentes de resistencia, en la Estación Experimental Naranjal.

Durante este período se terminaron las evaluaciones por producción, granulometría, altura y roya, en 80 progenies derivadas de cruces entre progenitores con resistencia a la enfermedad. Es necesario realizar evaluaciones con marcadores ligados a resistencia con el fin de avanzar aquellas progenies con buenas características agronómicas que presenten el gen *T*.

**Evaluación de poblaciones desarrolladas a partir de híbridos interespecíficos (MEG102003).** Se evaluaron 45 progenies  $F_4RC_1$  descendientes de diferentes progenitores de *C. canephora* entre los que predominaron los descendientes de las selecciones BP.358 EA 131 (17 progenies) y BP.46 EA239 (siete progenies); como testigo se tuvieron la Variedad Castillo®, Caturra y San Bernardo. El experimento se sembró en un diseño completamente al azar, con dos repeticiones y con un surco de diez plantas efectivas como unidad experimental. Durante su desarrollo se evaluó la altura de la planta a los 12 meses, la producción durante cuatro años (2011-2015), la frecuencia de fruto



**Figura 55.** Cambios en la actividad enzimática de la glutamina sintetasa (GS), glutamato sintasa (GOGAT), fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC), isocitrato deshidrogenasa (ICDH) y hexoquinasa (HXK), después del tratamiento con 2-OG. Las hojas y raíces se recolectaron a las 48 h de aplicación de los tratamientos con 2-Oxoglutarato (0, 2,5 mM y 5,0 mM); Las letras representan las diferencias entre las medias (Tukey-HSD,  $P \leq 0,05$ ).  $n=3 \pm SE$ .

de granos caracol, lo mismo que su tamaño, medido como café supremo (porcentaje de café verde retenido en una malla de orificios circulares de 17/64"). Además, se midió la resistencia a la roya por la escala de campo de Eskes y Toma-Braghini (de 0 a 9). Se realizó el análisis de varianza para los caracteres cuantitativos, y cuando estos fueron significativos, las progenies se compararon por medio de la prueba de Dunnett ( $p=0,05$ ), usando la Variedad Castillo® como testigo. Para la roya se tomó el valor máximo de seis evaluaciones en cada

planta y con esa información se hizo una distribución de frecuencia por progenie.

Los resultados de los análisis de varianza fueron altamente significativos ( $FC_{47, 48, 0.05} > 1,62$ ) para todas las características. La prueba de Dunnett para la altura de plantas mostró que la progenie MEG 0652.418 fue más alta que la Variedad Castillo®, por lo que será descartada, mientras que la variedad San Bernardo fue de menor altura (Tabla 9). En cuanto a los frutos vanos, como una medida de fertilidad, sólo la progenie MEG 0652.946, fue

significativamente diferente. En contraste, 18 progenies con frecuencia de granos caracol significativamente mayor que la Variedad Castillo®. Estas progenies también serán descartadas. En cuanto al tamaño de grano, 22 progenies tuvieron un tamaño significativamente inferior al del testigo; la mayoría de estas progenies son de grano medio, similar al de la variedad Caturra. Todas las progenies fueron resistentes a la roya, con moda y mediana de 0, excepto la progenie MEG 0652.423, que fue la más atacada por la roya (Tabla 10). Entre los

progenitores, éste fue uno de los de más alta calificación. Esto muestra la alta resistencia de estas progenies. Ninguna de las progenies mostró diferencias significativas en su producción media con respecto a la Variedad Castillo®.

De acuerdo al anterior análisis, se seleccionaron siete progenies altamente productivas y resistentes a la roya, cuya altura de planta es estadísticamente igual a la de la Variedad Castillo®, y cuyas características de grano son similares a las de las variedades comerciales. Dentro de ellas, se seleccionarán plantas para ser evaluadas en experimentos regionales.

**Evaluación de poblaciones con resistencia a la roya, derivadas del Híbrido de Timor (MEG102004).** Este proyecto tiene por objeto desarrollar líneas de café con resistencia genética a la roya, producto del cruzamiento entre derivados del Híbrido de Timor e introducciones de la Colección Colombiana de Café, especialmente las de origen etíope.

Las progenies evaluadas proceden de cruzamientos entre generaciones avanzadas (F5 y F6) de Caturra x Híbrido de Timor que han perdido la resistencia completa a la roya, selecciones entre generaciones F<sub>3</sub>RC<sub>1</sub> y F<sub>4</sub>RC<sub>1</sub> procedentes de Caturra x (Caturra x *C. canephora*) obtenidas por la vía de híbridos triploides y germoplasma etíope. Todos ellos seleccionados, después de una rigurosa evaluación de campo, que determinó la existencia de resistencia incompleta a la enfermedad.

**Tabla 9.** Calificación máxima de roya en progenies F<sub>4</sub>RC<sub>1</sub> de Caturra x (Caturra x *C. canephora*).

Número de plantas en cada grado de la escala de Eskes y Toma-Braghini											
Progenies	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total	
MEG0652.101	4	5	5	2	2	1				19	
MEG0652.110	8	2	5	1	1		3			20	
MEG0652.114	12	5	1	1		1				20	
MEG0652.116	11	3	1	2				2		19	
MEG0652.119	9	6	3							18	
MEG0652.133	15	4								19	
MEG0652.135	15	4		1						20	
MEG0652.136	18	2								20	
MEG0652.140	15	1	1							17	
MEG0652.152	9	3	3				1	2	1	19	
MEG0652.160	12	4	1	3						20	
MEG0652.171	14	2	2		1					19	
MEG0652.176	15	3	2							20	
MEG0652.178	7	6	4	2		1				20	
MEG0652.222	18	1								19	
MEG0652.223	15	2	1	1		1				20	
MEG0652.224	15	1				2	2			20	
MEG0652.230	9		2	1	1	3				16	
MEG0652.28	17	2								19	
MEG0652.317	2	3	8	4	2	1				20	
MEG0652.320	11	3	3	3						20	
MEG0652.325	10	2		3		1	2	2		20	
MEG0652.328	15	3		1	1					20	
MEG0652.336	18	1								19	
MEG0652.337	19	1								20	
MEG0652.340	16	1	1	1						19	
MEG0652.414	11	4			1		1	2	1	20	
MEG0652.418	4	5	4	2	2	1		1	1	20	
MEG0652.423		1	5	6		1	1	1	2	17	
MEG0652.441	12	2	3		1					18	
MEG0652.442	13	2	1							16	
MEG0652.444	10	2	6	2						20	
MEG0652.46	10	2	1	1	2	1				17	
MEG0652.483	19	1								20	
MEG0652.488	16	1	1							18	
MEG0652.49	14	5		1						20	
MEG0652.492	8	5	1	2			2	2		20	
MEG0652.495	14	2	3	1						20	
MEG0652.496	8	3	1	2		3	1		1	19	
MEG0652.499	10	5	3			2				20	
MEG0652.92	10	7	1	1			1			20	
MEG0652.93	17	3								20	
MEG0652.94	16	1								17	
MEG0652.97	17	2		1						20	

Continúa...

...continuación.

Número de plantas en cada grado de la escala de Eskes y Toma-Braghini										
MEG0652.99	11	2	1							14
San Bernardo		2	6	4	5					17
V. Castillo®	3	6	5	5	1					20
V. Caturra						2	5	3	5	15
Total	552	133	85	54	20	21	19	15	11	910

\* Máximo de 6 lecturas del 2012 al 2015

Las introducciones etíopes fueron evaluadas en el proyecto MEG02.50, donde se analizó el progreso de la roya y la defoliación en un período de alta epidemia. Las observaciones realizadas permitieron identificar diferencias del progreso de la enfermedad en los genotipos con respecto a Caturra. En éstos la respuesta a la roya se caracteriza por niveles de incidencia bajos y de lento progreso.

Como resultado de los cruzamientos dirigidos, se obtuvieron 308 F1, 132 poblaciones F2 y 256 progenies F3 (53 cruzamientos). La selección en F2 consideró el vigor de la progenie, tipo de planta (A, B, C y D), color del cogollo, resistencia a la roya y plantas con reducida ramificación secundaria en su base. Con esta discriminación se pretende lograr una mayor homogeneidad en las características de las variedades compuestas, además de disponer de genotipos con tipo de planta compacto, ramas cortas, reducida ramificación secundaria y menor o igual altura que Caturra.

En la actualidad se evalúan 68 poblaciones F1 (Lote 2015-1), 17 en F2 (Lote 2011-1) y 116 progenies F3 (Lotes 2009-14 y 2010-5). En el presente informe se presentan los resultados del lote 2009-14, en el cual se finalizó el registro de la información y la selección de progenies para avanzar a la siguiente generación. Las progenies evaluadas pertenecen a árboles con fenotipo tipo Caturra, cogollo verde y reducida ramificación secundaria.

Como criterios de selección de las mejores progenies para avanzar a la siguiente generación se tuvieron: producción promedio/año en un ciclo productivo (cuatro cosechas), altura de las plantas a los 24 meses de edad, café almendra retenido en la malla 17/64 (café supremo) y calidad en taza con la escala SCAA. Para el caso de la infección por roya se tuvo en cuenta que la proporción de plantas afectadas por roya con calificación menor a tres, en la escala de campo de Eskes y Toma-Braghini, fuera mayor al 80%. Los promedios obtenidos por las progenies para las variables descritas se presentan en la Tabla 11.

De las 85 progenies evaluadas, el 92% presentaron un promedio de producción mayor a la Variedad Castillo® (5,51 kg/planta equivalentes 483 @/ha de cps) y en el 71% de ellas, fue superior al testigo más productivo (Iapar-59= 6,41 kg/planta, 683@ cps/ha); cabe anotar que la densidad empleada en el experimento fue de 6.666 plantas/ha. Dentro de este grupo

sobresalen 14 progenies, con una producción significativamente superior a la Variedad Castillo®, de acuerdo a la prueba de Dunnett ( $p=0,05$ ). Para el caso de la altura de la planta a los 24 meses de edad, el rango estuvo entre 115,3 y 166,0 cm. El 55% de las progenies presentan una altura promedio inferior a la variedad Caturra, siendo éste estadísticamente significativo (Dunnett<sub>0,05</sub>) en cinco de ellas (2006-2 #4170= 122,1 cm; 2006-2 #4604= 121,8 cm; 2006-2 #4764= 119, 2 cm; 2006-2 #5595= 115,3 cm; 2006-2 #5685= 123,0 cm).

El tamaño del grano es un factor de gran importancia para la aceptación de una nueva variedad. Los porcentajes de café supremo en las progenies estuvieron entre el 30% y 92%, no obstante, el 70% de ellas presentaron valores por encima del 60%, el cual es la media para la variedad Caturra, ampliamente aceptada por el caficultor. De igual manera, sobresalieron 25 progenies (30%) por poseer contenidos de café supremo superiores a la Variedad Castillo® (79,6% de café supremo).

Además de las variables agronómicas descritas, el desarrollo de una variedad debe estar acompañado por la evaluación de la calidad de la bebida, la cual es una característica reconocida del café colombiano. La calidad en taza de las progenies, evaluadas con la escala SCAA, las agrupó dentro de la clasificación especial (puntaje total entre 80,0 y 84,9) donde algunas obtuvieron calificación

**Tabla 10.** Características de las progenies F<sub>4</sub>RC<sub>1</sub> de Caturra x (Caturra x *canephora*). Experimento Meg 0667.

Progenies	Producción/año*	Altura 12 meses	Frutos vanos	Granos caracol	Café supremo
	kg.año <sup>-1</sup> de café cereza	(cm)	(%)	(%)	(%)
MEG0652.325	3,6	147,6	5,9	9,6	65,3
MEG0652.320	3,5	156,5	8,1	18,4	53,8
MEG0652.152	3,0	165,5	7,2	15,8	55,7
MEG0652.119	3,0	159,7	5,9	10,1	62,6
MEG0652.495	3,0	152,9	9,8	16,7	64,8
MEG0652.101	2,9	142,3	12,3	18,5	43,5
MEG0652.483	2,9	156,0	5,3	11,6	71,6
MEG0652.171	2,9	153,5	6,8	16,5	57,1
MEG0652.49	2,9	154,5	8,4	16,6	64,1
MEG0652.176	2,8	148,3	6,4	15,0	68,2
MEG0652.28	2,8	162,6	8,1	15,9	59,9
MEG0652.488	2,8	149,2	5,0	11,5	70,5
MEG0652.442	2,8	158,3	9,4	16,2	62,6
MEG0652.340	2,8	164,7	13,2	26,2	43,6
MEG0652.160	2,8	152,2	10,2	12,4	46,4
MEG0652.444	2,8	152,6	6,6	20,6	54,3
MEG0652.441	2,7	152,5	6,8	13,3	62,7
MEG0652.178	2,7	158,3	5,4	15,0	68,9
MEG0652.140	2,7	146,1	5,3	12,4	70,2
MEG0652.223	2,7	165,0	8,1	22,5	49,7
MEG0652.114	2,7	161,5	6,9	12,1	74,3
MEG0652.93	2,6	155,5	4,8	9,8	62,2
MEG0652.317	2,6	147,6	6,3	13,2	75,4
MEG0652.328	2,6	164,8	10,3	19,2	60,0
MEG0652.499	2,6	157,0	7,4	18,1	72,7
MEG0652.423	2,6	146,7	8,2	21,4	52,5
MEG0652.224	2,6	163,7	11,6	23,5	28,3
MEG0652.92	2,5	148,5	6,4	11,9	57,2
MEG0652.496	2,5	149,7	17,6	24,8	53,9
MEG0652.135	2,5	151,3	4,6	10,7	77,0
V. Castillo®	2,4	153,1	8,2	9,2	77,9
MEG0652.133	2,4	156,3	4,2	9,8	75,6
MEG0652.414	2,4	159,5	7,5	15,6	48,2
MEG0652.136	2,3	160,9	8,8	12,0	79,3
MEG0652.418	2,3	169,1	6,3	17,4	45,6
MEG0652.230	2,3	150,0	8,4	16,8	61,8
MEG0652.99	2,2	144,6	7,8	12,7	45,2
MEG0652.492	2,2	146,1	8,2	19,5	46,4
MEG0652.222	2,2	152,8	9,3	23,0	54,6
MEG0652.97	2,2	142,1	6,7	12,2	63,1
MEG0652.116	2,1	160,9	5,1	11,7	48,9
MEG0652.46	2,1	141,4	10,8	15,0	59,1
MEG0652.110	2,1	156,1	15,0	22,2	59,0

Continúa...

...continuación.

Progenies	Producción/año*	Altura 12 meses	Frutos vanos	Granos caracol	Café supremo
	kg.año <sup>-1</sup> de café cereza	(cm)	(%)	(%)	(%)
MEG0652.336	2,0	141,9	8,6	10,0	63,6
MEG0652.94	2,0	143,1	5,4	11,0	51,7
V. Caturra	2,0	154,7	5,3	8,7	45,4
San Bernardo	1,9	120,5	5,9	11,4	73,3
MEG0652.337	1,8	155,5	15,8	13,8	54,8
Promedio	2,6	153,7	7,8	15,2	60,3

\* Promedio de cuatro años de cosecha de 2011 al 2015

por encima de la variedad Caturra (81,5) y la Variedad Castillo® (83,0). Sobresalen por su excelente calidad en taza las progenies 2006-2 #4027 y 2006-2 #4170, las cuales obtuvieron puntajes totales de 85,5 y 86,0, respectivamente, que las define como de origen especial.

La resistencia a la roya es sin duda la característica de mayor relevancia en la obtención de nuevas variedades. Para la medición de esta variable se tomó el valor más alto de incidencia sobre cada planta, en cinco evaluaciones. Con el objetivo de hacer una mejor discriminación de la resistencia, se agruparon las progenies en dos categorías: 0-1 resistencia vertical y 2-3 resistencia parcial (Tabla 12), donde las de mejor comportamiento fueron aquellas que presentaron más de un 80% de plantas con calificación menor a tres. Cabe anotar, que los progenitores usados no presentaron resistencia total a la enfermedad, y que para su selección en generaciones tempranas se aceptó hasta un 70% de plantas con calificación menor a cuatro, en la escala de Eskes y Toma-Braghini.

Las observaciones de la incidencia por roya permitieron agrupar a 34 progenies (40%)

con menos del 80% de sus plantas con calificación menor a tres, en la escala de campo. Sobresalieron las progenies 2006-2 #2947, 2006-2 #4591 y 2006-2 #5846 con todas sus plantas con calificación en el rango entre 0-1, y 17 progenies donde más del 80% de sus plantas presentaron calificaciones máximas en este mismo valor. De igual manera, en relación con la Variedad Castillo®, el 50% de las progenies presentaron una menor incidencia durante el período evaluado.

De acuerdo a los resultados obtenidos, existe un grupo de progenies muy promisorias, que reúne un conjunto de características agronómicas deseables y dentro de las cuales puede hacerse selección de individuos para ser evaluados en ensayos previos a su liberación (Tabla 13). En conclusión, este tipo de progenies presenta un alto potencial para el desarrollo de nuevas variedades, debido a que involucran un fondo genético que no ha sido utilizado en las variedades actualmente cultivadas en Colombia. Además, ofrecen la oportunidad de obtener variedades con resistencia a la roya, porte bajo, homogéneas, de alta productividad y excelente calidad en taza.

## Selección asistida por marcadores moleculares

### Evaluación de marcadores moleculares asociados con la resistencia a CBD en variedades de café cultivadas en Colombia (MEG 106001).

Dentro de las estrategias del Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé está el desarrollo de variedades con resistencia a enfermedades actuales y potenciales que puedan afectar la rentabilidad del cultivo del café en Colombia. La enfermedad de las cerezas del café, conocida por su sigla en inglés CBD, ha superado en frecuencia a la roya en cultivos del café en Kenia, entre 1.330 y 1.800 m de altitud, siendo esto evidencia de la capacidad de adaptación del patógeno que inicialmente infectaba cultivos por encima de 1.700 m. El hongo causante de la enfermedad, *Colletotrichum kahawae*, se encuentra distribuido en todas las zonas de cultivo de café en África y puede causar hasta un 80% de pérdidas del grano si no se aplica control químico.

Existen registros de tres genes que confieren resistencia al CBD, uno de ellos, el gen *Ck-1* (llamado también gen *T*), ha sido

ampliamente utilizado en programas de mejoramiento genético por resistencia a la enfermedad en África. Este gen dominante se encontró en el Híbrido de Timor, material que ha sido pilar fundamental del programa de resistencia a la roya del café en Colombia, al ser el progenitor masculino de las variedades Colombia, Tabi y Variedad Castillo® General y sus componentes regionales. Mediante investigaciones desarrolladas en regiones con presencia del patógeno, y validados en Cenicafé, se encontraron dos marcadores microsatélites, SAT207 y SAT235, ligados al gen *Ck-1*, siendo el último el que presenta mayor asociación con el rasgo de resistencia y cuya utilidad ha sido probada para selección asistida por marcadores moleculares.

En la presente investigación, se evaluó la presencia del gen *CK-1* en las variedades de café cultivadas en Colombia, mediante amplificación por PCR de los marcadores SAT207 y SAT235 en el ADN de cada uno de los progenitores (F4 y F5) de los componentes de las variedades multilíneas Colombia, Tabi y Variedad Castillo® y en las variedades Caturra, Típica y Borbón, además del Híbrido de Timor. Se incluyen datos de la variedad Costa Rica 95 previamente publicados. Los resultados se presentan las Tablas 13 y 14.

Los resultados muestran la ausencia del bloque de introgresión que contiene el gen *Ck-1* en las variedades tradicionales: Caturra, Típica y

**Tabla 11.** Características agronómicas de las progenies con resistencia a roya derivadas del Híbrido de Tomor. Lote 2009-14 (Producción acumulada de cuatro cosechas (kg), altura promedio a los 24 meses (cm), calidad en taza y porcentaje de grano supremo).

Progenie	Producción de café cereza (kg/planta)	Altura 24 meses (cm)	SCAA	Supremo (%)
2006-2 #11	6,7	151,5	83,0	60,6
2006-2 #75	8,4	154,8	84,3	79,4
2006-2 #121	5,9	134,9	82,5	53,4
2006-2 #1644	7,6	138,9	83,0	39,9
2006-2 #1793	9,6*	133,0	82,5	32,1
2006-2 #1797	9,1	137,6	80,8	44,0
2006-2 #1907	7,8	146,3	81,0	22,4
2006-2 #1465	7,7	132,9	83,5	54,2
2006-2 #2027	6,9	135,2	81,8	75,4
2006-2 #2213	6,2	149,8	82,5	87,1
2006-2 #2264	6,8	156,5	82,5	89,3
2006-2 #2345	6,4	142,1	83,5	64,3
2006-2 #2389	6,6	135,3	83,5	67,8
2006-2 #2405	7,6	135,5	84,3	63,5
2006-2 #2410	8,0	139,5	83,0	50,9
2006-2 #2482	7,6	141,2	84,0	78,1
2006-2 #2502	7,0	125,4	82,5	59,3
2006-2 #2505	8,2	143,6	83,8	71,2
2006-2 #2673	6,6	153,5	82,5	84,8
2006-2 #2674	7,8	136,7	81,0	84,5
2006-2 #2776	8,5	156,9	83,0	88,3
2006-2 #2803	8,1	147,2	84,0	90,3
2006-2 #2985	8,1	147,4	83,0	82,1
2006-2 #2997	9,1	147,1	83,5	68,1
2006-2 #2941	6,6	165,0	83,0	46,2
2006-2 #2947	7,3	147,3	83,5	79,0
2006-2 #2963	5,2	134,8	83,8	85,7
2006-2 #2975	7,0	148,9	83,3	81,3
2006-2 #3042	5,9	148,1	83,8	75,2
2006-2 #3046	6,5	155,8	81,8	81,6
2006-2 #2123	7,8	145,3	83,8	68,3
2006-2 #3130	7,2	133,3	82,5	59,1
2006-2 #3133	6,4	151,4	82,5	83,2
2006-2 #3158	10,3*	157,1	82,0	57,8
2006-2 #3175	8,4	148,8	81,8	76,2
2006-2 #3256	11,1*	122,4	80,5	64,2
2006-2 #3404	5,1	136,0	82,0	66,2
2006-2 #3433	5,1	142,9	83,0	78,0
2006-2 #3491	7,0	131,5	81,5	50,8
2006-2 #3515	8,1	138,1	82,5	52,3
2006-2 #3599	8,6	145,6	81,5	54,3
2006-2 #3882	8,4	135,0	82,0	77,5
2006-2 #3990	9,3*	148,6	81,0	63,2

Continúa...

...continuación.

Progenie	Producción de café cereza (kg/planta)	Altura 24 meses (cm)	SCAA	Supremo (%)
2006-2 #4027	8,1	133,5	85,5	56,0
2006-2 #4170	7,9	122,1*	86,0	50,8
2006-2 #4250	9,4*	143,0	83,0	55,8
2006-2 #4264	12,6*	153,9	80,8	77,5
2006-2 #4390	6,4	153,8	81,0	37,5
2006-2 #4424	7,7	148,4	82,5	92,2
2006-2 #4444	8,9	144,6	ND	82,6
2006-2 #4516	9,8*	139,0	81,0	78,9
2006-2 #4564	9,0	146,4	84,3	89,7
2006-2 #4591	4,9	142,9	83,3	77,8
2006-2 #4604	5,6	121,8*	81,8	46,2
2006-2 #4764	6,5	119,2*	84,3	41,5
2006-2 #4788	6,1	134,7	82,0	66,8
2006-2 #4933	7,9	130,0	81,0	66,8
2006-2 #5075	8,4	156,6	81,8	24,7
2006-2 #5595	5,1	115,3*	ND	70,3
2006-2 #5614	6,8	138,7	ND	83,2
2006-2 #5685	5,7	123,0*	ND	80,3
2006-2 #5724	9,6*	156,0	80,3	83,2
2006-2 #5762	6,8	137,7	84,0	53,5
2006-2 #5782	6,4	139,4	83,3	71,8
2006-2 #5837	8,4	151,2	80,8	90,9
2006-2 #5846	7,2	127,8	82,0	25,4
2006-2 #5858	10,3*	145,0	83,3	74,9
2006-2 #5974	7,0	157,4	80,5	83,8
2006-2 #5977	3,6	133,2	83,0	81,0
2006-2 #6164	8,2	156,3	83,5	58,7
2006-2 #6174	7,7	125,9	83,5	51,7
2006-2 #6245	9,2	135,1	81,0	64,7
2006-2 #6310	9,3*	144,7	83,0	74,1
2006-2 #6322	6,9	147,6	81,0	61,1
2006-2 #6328	7,1	142,3	80,5	63,2
2006-2 #6369	7,3	139,6	82,5	72,5
2006-2 #6405	9,7*	163,9	83,0	75,6
2006-2 #6408	8,6	160,1	84,0	77,6
2006-2 #6454	7,5	143,8	83,0	79,1
2006-2 #6455	7,8	162,9	83,0	81,3
2006-2 #6508	8,4	160,1	81,8	81,0
2006-2 #3293	7,4	147,2	82,3	73,9
2006-2 #4089	10,0*	166,5	82,0	73,2
2006-2 #4129	9,9*	147,2	82,5	70,7
2006-2 #4883	10,1*	119,5*	81,5	66,8
Costa Rica	5,3	144,1	78,0	75,4
Iapar-59	6,4	138,5	81,0	78,0
Castillo Naranjal	5,5	146,1	83,0	79,6
Catuai	6,0	150,3	83,5	71,2
Caturra	4,9	145,7	81,5	62,5

\* Plantas con diferencias estadísticamente significativas en relación con la Variedad Castillo® (Dunnet  $p=0,05$ )

Borbón. Se encontró variabilidad dentro de los Híbridos de Timor (HdT) evaluados. Para el HdT 1343 I.574 CV2, progenitor de la variedad Colombia y la Variedad Castillo®, y en el 82,6% de las líneas de la variedad Tabi, se encontraron las formas alélicas de resistencia de los marcadores, mientras que en el caso del HdT 832/1, progenitor de cuatro de los componentes de Tabi y de Costa Rica 95, el bloque de introgresión está ausente, sugiriendo susceptibilidad a CBD en la variedad Centroamericana y en el 17,4% de los componentes de Tabi. Dentro de los progenitores de la Variedad Castillo® y sus regionales, que corresponden a individuos en generaciones F4 y F5, el 16,3% de los materiales son heterocigotos para el marcador SAT235 (presentan simultáneamente las formas alélicas de resistencia y susceptibilidad) y en cinco de ellos se da también ausencia del marcador SAT207, lo que sugiere que una alta proporción de la semilla de estas líneas puede ser susceptible a CBD. A pesar de lo anterior la estrategia de diversidad de componentes portadores del gen de resistencia hace que la población en general esté protegida, una situación similar ocurre para la variedad Colombia, con un 2,9% de líneas con progenies susceptibles. En el caso de los componentes regionales de la Variedad Castillo®, el porcentaje de componentes con progenies susceptibles varía entre el 8,18% y el 50,0%, este último valor para la Variedad Castillo® Pueblo Bello. Para la variedad Tabi, el 26% de las componentes puede presentar descendencia susceptible al CBD.

**Tabla 12.** Proporción de plantas para cada progenie, agrupadas dentro de dos categorías (0-1 resistencia completa; 2-3 resistencia incompleta) y el total de plantas con calificación menor a 3.

Progenie	Roya (0 - 1)*	Roya (2 - 3)	Total plantas grado <3
2006-2 #11	11,1	27,8	38,9
2006-2 #75	5,0	50,0	55,0
2006-2 #121	66,7	27,8	94,4
2006-2 #1644	10,0	60,0	70,0
2006-2 #1793	0,0	5,0	5,0
2006-2 #1797	5,3	47,4	52,6
2006-2 #1907	15,0	15,0	30,0
2006-2 #1465	10,0	45,0	55,0
2006-2 #2027	0,0	10,0	10,0
2006-2 #2213	0,0	0,0	0,0
2006-2 #2264	15,0	50,0	65,0
2006-2 #2345	10,0	50,0	60,0
2006-2 #2389	10,0	25,0	35,0
2006-2 #2405	10,0	35,0	45,0
2006-2 #2410	35,0	40,0	75,0
2006-2 #2482	0,0	11,8	11,8
2006-2 #2502	0,0	17,6	17,6
2006-2 #2505	0,0	15,0	15,0
2006-2 #2673	0,0	5,3	5,3
2006-2 #2674	0,0	36,8	36,8
2006-2 #2776	0,0	0,0	0,0
2006-2 #2803	5,0	15,0	20,0
2006-2 #2985	75,0	15,0	90,0
2006-2 #2997	90,0	10,0	100,0
2006-2 #2941	90,0	5,0	95,0
2006-2 #2947	100,0	0,0	100,0
2006-2 #2963	95,0	0,0	95,0
2006-2 #2975	95,0	0,0	95,0
2006-2 #3042	26,3	52,6	78,9
2006-2 #3046	58,8	17,6	76,5
2006-2 #2123	94,4	5,6	100,0
2006-2 #3130	30,0	50,0	80,0
2006-2 #3133	80,0	20,0	100,0
2006-2 #3158	0,0	80,0	80,0
2006-2 #3175	0,0	73,7	73,7
2006-2 #3256	5,3	57,9	63,2
2006-2 #3404	5,0	85,0	90,0
2006-2 #3433	11,1	27,8	38,9
2006-2 #3491	27,8	38,9	66,7
2006-2 #3515	15,8	42,1	57,9
2006-2 #3599	0,0	5,0	5,0
2006-2 #3882	10,0	45,0	55,0

Continúa...

...continuación.

Progenie	Roya (0 - 1)*	Roya (2 - 3)	Total plantas grado <3
2006-2 #3990	0,0	21,1	21,1
2006-2 #4027	0,0	75,0	75,0
2006-2 #4170	10,0	55,0	65,0
2006-2 #4250	5,6	77,8	83,3
2006-2 #4264	0,0	40,0	40,0
2006-2 #4390	0,0	5,3	5,3
2006-2 #4424	17,6	52,9	70,6
2006-2 #4444	55,0	35,0	90,0
2006-2 #4516	47,4	52,6	100,0
2006-2 #4564	31,6	42,1	73,7
2006-2 #4591	100,0	0,0	100,0
2006-2 #4604	85,0	0,0	85,0
2006-2 #4764	95,0	5,0	100,0
2006-2 #4788	52,6	15,8	68,4
2006-2 #4933	10,0	45,0	55,0
2006-2 #5075	16,7	61,1	77,8
2006-2 #5595	5,6	5,6	11,1
2006-2 #5614	83,3	11,1	94,4
2006-2 #5685	95,0	5,0	100,0
2006-2 #5724	70,0	20,0	90,0
2006-2 #5762	10,0	50,0	60,0
2006-2 #5782	30,0	50,0	80,0
2006-2 #5837	21,1	73,7	94,7
2006-2 #5846	100,0	0,0	100,0
2006-2 #5858	50,0	45,0	95,0
2006-2 #5974	5,0	5,0	10,0
2006-2 #5977	10,5	5,3	15,8
2006-2 #6164	0,0	25,0	25,0
2006-2 #6174	0,0	21,1	21,1
2006-2 #6245	25,0	40,0	65,0
2006-2 #6310	94,7	0,0	94,7
2006-2 #6322	75,0	15,0	90,0
2006-2 #6328	35,0	45,0	80,0
2006-2 #6369	75,0	10,0	85,0
2006-2 #6405	80,0	20,0	100,0
2006-2 #6408	80,0	20,0	100,0
2006-2 #6454	80,0	15,0	95,0
2006-2 #6455	55,0	30,0	85,0
2006-2 #6508	0,0	44,4	44,4
2006-2 #3293	26,3	47,4	73,7
2006-2 #4089	0,0	26,3	26,3
2006-2 #4129	0,0	20,0	20,0
2006-2 #4883	0,0	10,0	10,0
Costa Rica	15,0	60,0	75,0

Continúa...

...continuación.

Progenie	Roya (0 - 1)*	Roya (2 - 3)	Total plantas grado <3
Iapar-59	90,0	10,0	100,0
Castillo Naranjal	18,8	50,0	68,8
Catuai	10,0	25,0	35,0
Caturra	0,0	0,0	0,0

\* Valoración en la escala de Campo de Eskes y Toma-Braghini.

Con el propósito de entender un poco más la genética de la resistencia se integró el grupo de ligamiento de la región que contiene el gen *Ck-1* con las secuencias genómicas de *C. canephora* y *C. arabica*. Después de determinar la ubicación del marcador SAT235 y delimitar la región con mayor probabilidad de contener el gen responsable de la resistencia en el genoma de *C. canephora* se ubicaron los contigs homólogos del genoma de *C. arabica* var. Caturra entre los 19,05 y 24 Mpb del cromosoma uno de *C. canephora*. Se encontraron variaciones estructurales entre los genomas. Para *C.*

*canephora* la región es de 4,95 Mpb mientras que para *C. arabica* es de 3,18 Mpb; la diferencia de 1,77 Mb incluye dos deleciones de 211,5 y 583,9 Kb (Figura 56). El Indel-1 contiene un grupo de seis genes de resistencia a enfermedades tipo RGA (sigla en inglés para genes análogos de resistencia a enfermedades) (Tabla 15). Esta información constituye el primer acercamiento a la secuencia de los bloques de introgresión de *C. canephora* vía HdT 1343 I.574 CV2 en las variedades resistentes a la roya y al CBD desarrolladas en Cenicafé. Dado que los componentes de las variedades fueron seleccionados por resistencia a roya y sólo se consideró la evaluación por resistencia a CBD en generaciones avanzadas, la evidencia sugiere que las características hayan co-segregado, siendo posible que el bloque de introgresión que se está estudiando contenga también al menos un gen de resistencia a la roya. Las evidencias sugieren que la caficultura colombiana podría estar preparada con las variedades desarrolladas por Cenicafé para enfrentar la eventual llegada del CBD a Colombia.

Tabla 13. Progenies candidatas a ser evaluadas en ensayos regionales.

Progenie	Producción de café cereza (kg/planta)	Altura 24 meses (cm)	Roya (% Plantas <3)	SCAA (Puntaje total)	Supremo (%)
2006-2 #2985	8,1	147,4	90,0	83,0	82,1
2006-2 #2997	9,1	147,1	100,0	83,5	68,1
2006-2 #2947	7,3	147,3	100,0	83,5	79,0
2006-2 #2963	5,2	134,8	95,0	83,8	85,7
2006-2 #2123	7,8	145,3	100,0	83,8	68,3
2006-2 #3130	7,2	133,3	80,0	82,5	59,1
2006-2 #4444	8,9	144,6	90,0	Nd	82,6
2006-2 #4516	9,8	139,0	100,0	81,0	78,9
2006-2 #5614	6,8	138,7	94,4	Nd	83,2
2006-2 #5685	5,7	123,0	100,0	Nd	80,3
2006-2 #5782	6,4	139,4	80,0	83,3	71,8
2006-2 #5858	10,3	145,0	95,0	83,3	74,9
2006-2 #6310	9,3	144,7	94,7	83,0	74,1
2006-2 #6328	7,1	142,3	80,0	80,5	63,2
2006-2 #6369	7,3	139,6	85,0	82,5	72,5
2006-2 #6454	7,5	143,8	95,0	83,0	79,1

**Tabla 14.** Presencia de alelos de resistencia asociados al gen *Ck-1* en variedades de café.

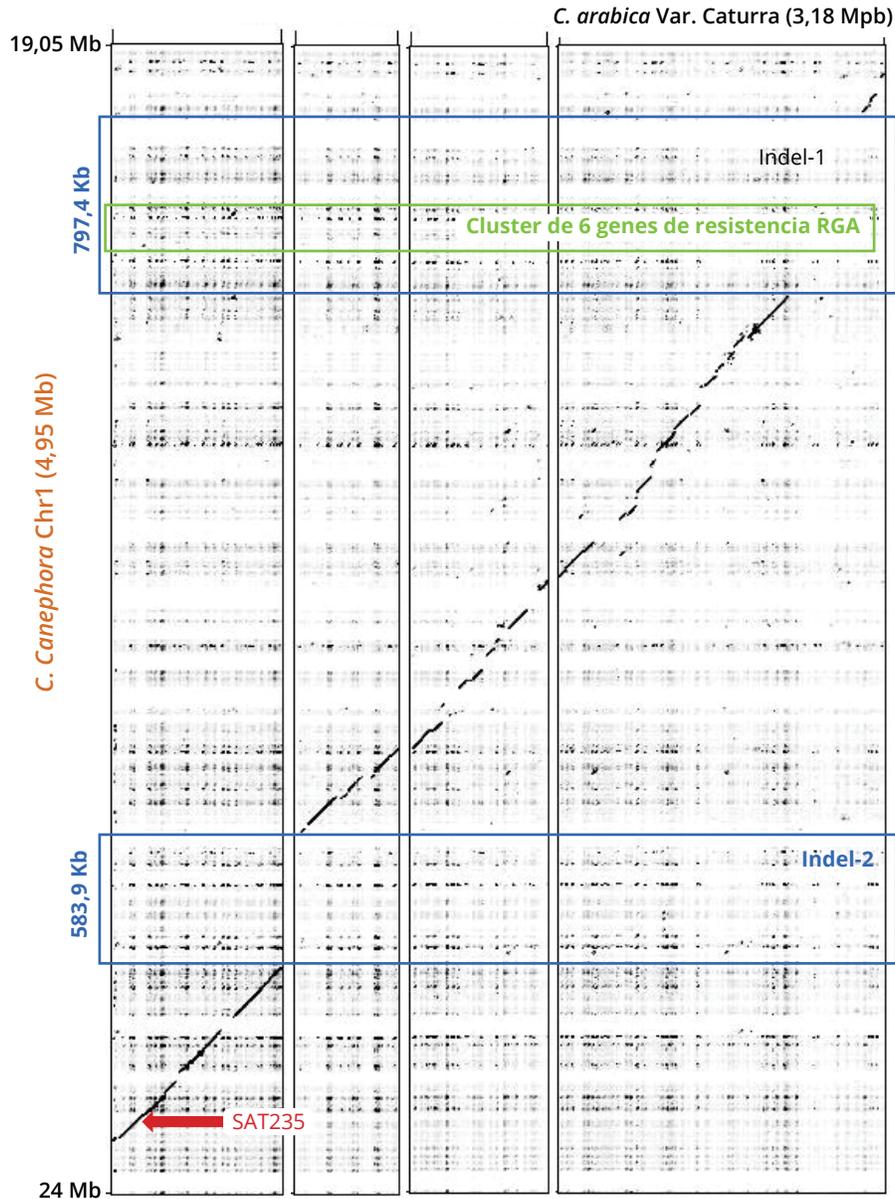
		Castillo® General	Colombia	Tabi	Caturra	Tipica	Borbón	Costa Rica 95
No. componentes		35	34	23	1	1	1	1
No. comp. progenie susceptible			1 (2,9%)	6 (26%)	1 (100%)	1 (100%)	1 (100%)	1 (100%)
No. comp. progenie resistente	Presencia 2 alelos de resistencia	32 (91,43%)	31 (91,2%)	13 (56,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Presencia alelo resistencia SAT235	35 (100%)	32 (94,1%)	17 (73,9%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Heterocigóticos SAT235	4 (11,43%)	3 (8,8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	Presencia alelo resistencia SAT207	32 (91,43%)	31 (91,2%)	13 (56,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

**Tabla 15.** Presencia de alelos de resistencia asociados al gen *Ck-1* en líneas regionales de la variedades de café.

		Regionales Variedad Castillo®						
		El Rosario	Naranjal	Paraguacito	La Trinidad	Pueblo Bello	El Tambo	Sta. Bárbara
No. componentes		11	11	11	4	4	8	6
No. comp. progenie susceptible		2 (18,2%)	2 (8,18%)	1 (9,09%)	0 (0%)	2 (50%)	2 (25%)	0 (0%)
No. comp. progenie resistente	Presencia 2 alelos de resistencia	9 (81,8%)	9 (81,82%)	10 (90,91%)	3 (75%)	2 (50%)	6 (75%)	6 (100%)
	Presencia alelo resistencia SAT235	11 (100%)	11 (100%)	11 (100%)	4 (100%)	4 (100%)	8 (100%)	6 (100%)
	Heterocigóticos SAT235	2 (18,2%)	2 (18,18%)	1 (9,09%)	0 (0%)	2 (50%)	2 (25%)	0 (0%)
	Presencia alelo resistencia SAT207	9 (81,8%)	9 (81,82%)	11 (100%)	3 (75%)	2 (50%)	6 (75%)	6 (100%)

**Tabla 16.** Genes asociados con mecanismos de defensa en vegetales entre las coordenadas genómicas derivadas de la asociación entre el grupo de ligamiento para el gen *Ck-1* y la secuencia genómica de *C. canephora*.

Chr/ID	Coordenadas*		Términos de Ontología	Anotación
	Inicio	Fin		
Chr1 Cc01_g05220	19737175	19740882	GO:0005515, GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative disease resistance protein RGA3
Chr1 Cc01_g05230	19809469	19813125	GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative disease resistance protein RGA3
Chr1 Cc01_g05240	19871169	19874690	GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative disease resistance protein RGA3
Chr1 Cc01_g05270	19914919	19918453	GO:0005515, GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative Disease resistance protein RGA2
Chr1 Cc01_g05280	19945258	19948638	GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative Disease resistance protein RGA2
Chr1 Cc01_g05660	21641050	21644176	GO:0005515, GO:0005524, GO:0006915, GO:0006952	Putative disease resistance protein RGA1



**Figura 56.** Análisis de sintenia entre *C. canephora* y *C. arabica* en la región genómica que contiene el gen de resistencia a CBD Ck<sup>-1</sup>. Los rectángulos azules indican variaciones estructurales mayores entre los genomas y el rectángulo verde la posición de un grupo de genes de resistencia a enfermedades (RGA), candidatos de conferir resistencia a enfermedades en las variedades Colombia, Tabi y la Variedad Castillo®.

## Experimentación



La Disciplina de Experimentación continúa con la coordinación administrativa y técnica de las Estaciones Experimentales Naranjal, El Rosario, La Trinidad, San Antonio, Paraguaicito, Pueblo Bello, La Catalina y El Tambo, con un área total de 529 ha.

Del área total, 179,85 ha se encuentran destinadas al cultivo del café, de éstas el 51,2% están destinadas a la producción de semilla de la Variedad Castillo®, Castillo® Regional y Tabi; el 18,2% se destina en actividades de investigación y 30,6% en el parque experimental, que equivale a áreas con lotes potenciales para establecer nuevas actividades de investigación.

En cuanto al uso de suelo, 160,59 ha están destinadas a la conservación de aguas, guadua y bosques y 41,3 ha en pastos, entre otros. La infraestructura ocupa un área de 15,91 ha y se tienen 131,9 ha en otros usos y áreas no cultivables.

Uno de los objetivos de la Disciplina de Experimentación a través de las Estaciones Experimentales, es desarrollar proyectos de investigación a nivel regional. Para el 2016, se desarrollaron 109 réplicas de las investigaciones, en las que se destacan por su participación en 38 réplicas en la Estación Naranjal, seguido por Paraguaicito con 16, La Catalina con 14 y El Tambo con 12, entre otros. De igual manera, se desarrollan 16 réplicas de investigación en fincas de caficultores ubicadas en el área de influencia de las Estaciones Experimentales Paraguaicito (cuatro réplicas), San Antonio (tres réplicas) y El Tambo (tres réplicas), entre otros.

Un segundo objetivo es apoyar al Servicio de Extensión en actividades de difusión de las tecnologías generadas por Cenicafé. Durante el 2016 se recibieron 7.412 visitantes, entre los que se destacan los caficultores con el 48%, el 20%

fueron Extensionistas de la Federación y el 12% estudiantes.

En el proceso Desarrollar Investigación Científica y Tecnológica, de las Estaciones Experimentales sólo la Estación Naranjal tiene alcance al SGI en el proceso Gestionar el Desempeño Ambiental, sin embargo, en las otras siete Estaciones se viene avanzando en el desarrollo de actividades asociadas a los requisitos establecidos en la Norma ISO14001 del ICONTEC y cumplimiento de todos los requisitos legales consagrados en las normas, decretos y leyes de la legislación Colombiana. El sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo OHSAS 18001:2007, como herramienta interdisciplinar, ha mejorado la calidad de vida de los colaboradores de las Estaciones Experimentales, creando una cultura del autocuidado, con las diferentes capacitaciones y actividades realizadas.

El cuarto objetivo propuesto por la Disciplina de Experimentación es la producción de semilla que se lleva a cabo en las Estaciones Experimentales de Cenicafé. Durante el 2016, se distribuyeron 55.041 kg de semilla a los diferentes Comités de Cafeteros para la renovación del parque productor de Colombia.

Entre los Comités que demandaron la mayor cantidad de semilla se destacan los Comités de Santander con 7.296 kg, seguido por Cauca

con 6.024 kg, Antioquia con 5.316 kg y Valle con 5.209 kg, entre otros. En cuanto a la variedad de la semilla distribuida se resalta el 65% de la Variedad Castillo® General, seguido de la Variedad Castillo® El Tambo con el 14%, la Variedad Castillo® Naranjal con el 8% y el 4% de Variedad Castillo® Pueblo Bello.

Con respecto a la procedencia de la semilla distribuida, el 43% proviene de la Estación Naranjal, seguido del 16% de la Estación La Trinidad, el 12% de la Estación El Tambo y el 11% de la Estación La Catalina.

Adicionalmente, se continuó con el trámite de derechos de obtentor de las progenies de la Variedad Castillo®. Para este propósito durante el 2016 se inscribieron en el Registro Nacional de Variedades, las progenies BH1247, CU1843, CU1778 y CU2021, pertenecientes a la Variedad Castillo® y se inició el proceso de obtención del certificado de obtentor, para las progenies BH1247, CU1843, CU1778 y CU2021, según la Resolución No.345 de la Comunidad Andina de Naciones. En la actualidad se tienen 12 progenies componentes de la Variedad Castillo® en proceso para la obtención de derechos.

## Suelos



### Restauración de predios afectados por procesos erosivos, en las microcuencas asociadas al proyecto GIA.

El siguiente trabajo hace parte del Proyecto de Gestión Inteligente del Agua-GIA y tiene como objetivo evaluar áreas afectadas por movimientos en masa, para la implementación de tratamientos de bioingeniería con alternativas de restauración ecológica. Se desarrolla en 25 microcuencas de Colombia, ubicadas en cinco departamentos: Caldas (Salamina, Aguadas, Pácora, Marquetalia y Pensilvania), Antioquia (Andes, Jardín, Salgar Abejorral y Pueblorrico), Cauca (Sotará, Rosas, La Sierra, Inzá y Balboa), Valle del Cauca (Caicedonia Sevilla, Bugalagrande, Tuluá y Bolívar) y Nariño (Buesaco, Sandoná, La Unión, Consacá y San Lorenzo).

Durante este período se elaboraron 71 pre-diseños y 24 diseños de restauración ecológica y conservación de suelos y aguas para los sitios

seleccionados por la comunidad cafetera. Se trabajó de manera conjunta con el Servicio de Extensión y el Trabajador Social con el fin de transmitir, sensibilizar y socializar el plan de bioingeniería con la comunidad a través de talleres. Durante la elaboración de diseños se tomaron datos de georeferenciación, clima, vegetación, geometría y morfología de la zona de estudio.

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

Con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad del suelo en el cultivo de café a la variabilidad climática, se inició una investigación en 438 predios cafeteros, seleccionados aleatoriamente en los departamentos de Risaralda y Caldas (Balboa: 141; Salamina: 150; Santuario: 147). En la vigencia se establecieron los valores de peso y ponderaciones a partir del conocimiento de experto, para determinar

la vulnerabilidad a la disponibilidad y conservación de nutrientes en el suelo, pérdida de nutrientes por lixiviación y pérdida de suelo por erosión. Hasta la fecha se han tomado 20 muestras para análisis químico, 10 para análisis físico y 20 encuestas tendientes a considerar el estado actual del uso del suelo, y se adelantan técnicas en el laboratorio para estandarizar el análisis de lixiviados de calcio, magnesio, potasio y fósforo.

### Caracterización regional de la fertilidad del suelo.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, consciente de la importancia de los análisis de suelos, ha promovido su uso desde hace más de 20 años. La información generada mediante esta herramienta puede emplearse para caracterizar regionalmente la fertilidad del suelo. Durante esta vigencia se analizó una base de datos con 255.019 registros, obtenidos durante los años 1989 a 2016, correspondientes a 20 departamentos. Los resultados indican que a excepción de Tolima, Caldas, Nariño, Risaralda, La Guajira y Valle del Cauca, más del 50% de las muestras evaluadas presentan algún grado de acidez (valores de pH menores a 5,0 y aluminio intercambiable mayor de  $1,0 \text{ cmol kg}^{-1}$ ). En los departamentos de Nariño, Huila, Meta, Tolima, Norte de Santander, Casanare, Magdalena, Caquetá y Putumayo más de 50% de

las muestras presentaron contenidos muy bajos de materia orgánica (menor del 6%). La deficiencia de fósforo fue un común en la mayoría de las regiones, siendo quizá más crítica la situación en Cauca, Caquetá, Valle del Cauca y Meta. Más del 90% de las muestras analizadas en Putumayo, Caquetá, Meta, Casanare, Magdalena y Boyacá presentaron bajos contenidos de potasio intercambiable (menos de  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), y el 60% de los mismos exhibieron niveles muy bajos (menores de  $0,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). En contraste, el 40% de las muestras de Nariño, La Guajira, Cauca, Risaralda y Quindío se caracterizaron por contenidos mayores a  $0,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . En los departamentos con una mayor acidez, principalmente Putumayo, Caquetá, Meta, Casanare y Boyacá, más del 50% de las muestras analizadas fueron deficientes en calcio (menos de  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ). Los anteriores departamentos junto con Quindío, son los más deficitarios en magnesio (contenidos menores a  $0,9 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

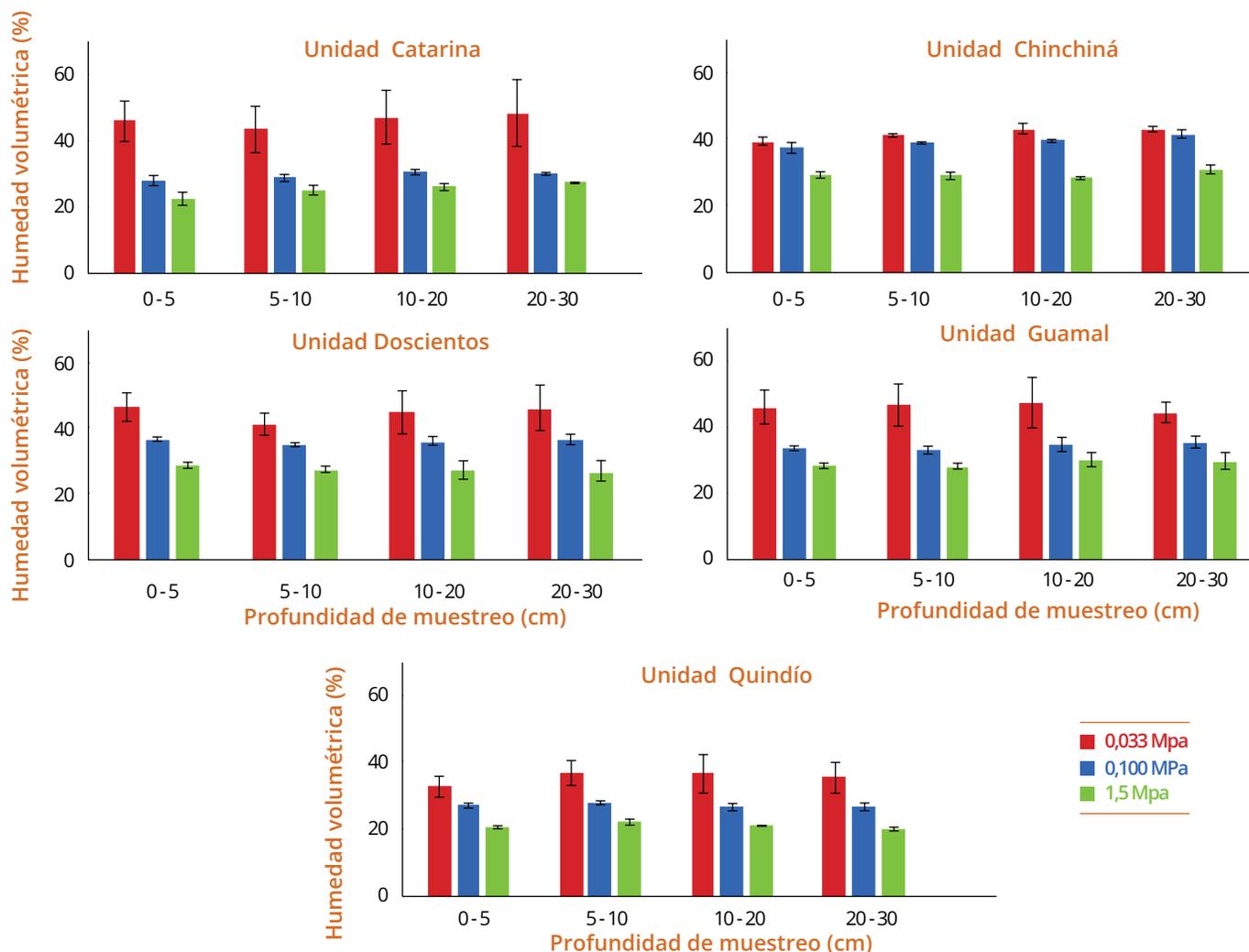
**Determinación de la capacidad de almacenamiento de agua de las unidades cartográficas de suelo más comunes de la región cafetera colombiana.** Durante la vigencia se continuó con la fase de ajuste metodológico. Para la determinación de la profundidad de muestreo se estableció que no hay diferencia en los contenidos volumétricos de humedad a las tres profundidades (Figura 57), por lo cual se considera que las muestras deben tomarse a una profundidad entre 10 y 15 cm.

Las Unidades Cartográficas a las que se les cuantificará la capacidad de almacenamiento de agua son aquellas que están presentes en mayor extensión del área plantada en café en Colombia. Dichas Unidades se seleccionaron mediante el software ArcGis, cruzando el mapa de Unidades de Suelos y los departamentos con mayor área sembrada en café (más del 50% del total sembrado en el país), según el reporte SICA del mes de abril de 2016. Los departamentos seleccionados se presentan en la Tabla 17 y las Unidades de suelos correspondientes en la Tabla 18.

**Disponibilidad de fósforo en suelos de la zona cafetera colombiana.** Por lo general, los suelos de la zona cafetera de Colombia poseen bajos contenidos de fósforo-P, situación que se hace más crítica en razón de procesos de retención o fijación que impiden la disponibilidad del elemento para las plantas. El desarrollo de esta investigación busca evaluar, mediante la técnica de isotermas de adsorción, la disponibilidad de fósforo en la solución del suelo, en algunas unidades representativas de suelo en la región cafetera, y su relación con otras propiedades del suelo. La metodología consiste en aplicar a una

**Tabla 17.** Departamentos seleccionados para el estudio (información tomada del SICA abril 2016).

Departamento	Área sembrada en café		
	hectáreas sembradas	Representación del departamento en el país (%)	Acumulado en el país (%)
Huila	153.912,43	16,40	16,40
Antioquia	127.448,23	13,58	29,97
Tolima	118.380,21	12,61	42,58
Cauca	93.754,42	9,99	52,57
Caldas	71.749,83	7,64	60,22
Valle del Cauca	64.294,09	6,85	67,06
Santander	50.878,08	5,42	72,48
Risaralda	50.681,01	5,40	77,88
Nariño	38.879,56	4,14	82,03
Cundinamarca	37.882,61	4,04	86,06
Cesar	28.984,79	3,09	89,15
Quindío	26.686,75	2,84	91,99
Norte de Santander	24.960,44	2,66	94,65
Magdalena	20.393,94	2,17	96,82
Boyacá	11.532,21	1,23	98,05
La Guajira	6.092,97	0,65	98,70
Caquetá	4.131,67	0,44	99,14
Meta	3.556,17	0,38	99,52
Casanare	3.168,50	0,34	99,86
Bolívar	1.168,72	0,12	99,98
Chocó	165,25	0,02	100,00
Total	938701,88	100,00	



**Figura 57.** Contenidos volumétricos de agua para cinco Unidades Cartográficas de suelos a tres diferentes tensiones (0,033; 0,100 y 1,5 MPa).

muestra de suelo diferentes concentraciones de P (0, 50, 100, 200, 400 y 800 mg de P por kilogramo de suelo), agitar por 24 h, centrifugar, filtrar y cuantificar la concentración de P en la solución.

Para esta vigencia se evaluaron 15 muestras de suelos, provenientes de lotes cafeteros del departamento de Huila, ubicados en los municipios de Gigante, El Pital y La Plata. Los valores de la capacidad de adsorción

P estuvieron entre 347 y 769 mg.kg<sup>-1</sup> de suelo (Figura 58), lo cual indica una fijación que se clasifica entre muy baja a media. Las diferencias observadas fueron relacionadas con algunas propiedades químicas, en especial el contenido de materia orgánica y la concentración de aluminio intercambiable.

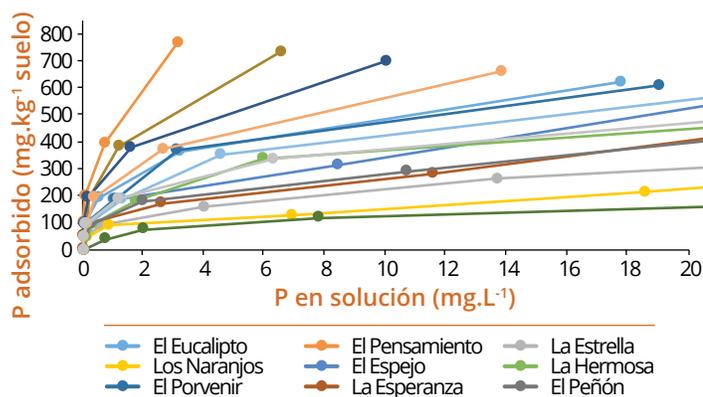
**Evaluación de la fertilidad del suelo en la zona cafetera de Huila.** Un aspecto importante para sostener y

mejorar la productividad de los cafetales en el departamento del Huila tiene que ver con la adecuada nutrición de las plantaciones, la cual depende de las propiedades del suelo, que en últimas afectan la fertilidad del suelo. Esta investigación, que hace parte del proyecto del Sistema General de Regalías, tiene como propósito conocer las propiedades de los suelos con el fin de proponer estrategias de manejo que contribuyan al incremento de la productividad

**Tabla 18.** Unidades de suelos de mayor área en los departamentos con más hectáreas sembradas en el país.

Departamento	Municipio	Área sembrada en café			Unidades de mayor área*
		Hectáreas	Porcentaje en el departamento	Porcentaje acumulado en el departamento	
Huila	Pitalito	19680,72	12,79	12,79	Laboyos, Guadalupe, Timaná, Siberia
	Acevedo	14931,10	9,70	22,49	Siberia, San Agustín
	La Plata	11511,71	7,48	29,97	San Simón, Salado blanco
	Garzón	9858,79	6,41	36,37	El Recreo
	San Agustín	7102,36	4,61	40,99	San Agustín, Isnos
	Suaza	6971,60	4,53	45,52	El Recreo, Guadalupe
	Algeciras	6001,03	3,90	49,42	El Recreo, Campoalegre
Antioquia	Andes	10344,97	8,12	8,12	Salgar, Suroeste, Chinchiná
	Ciudad Bolívar	10210,92	8,01	16,13	Salgar
	Salgar	7759,98	6,09	22,22	Salgar
	Concordia	7057,19	5,54	27,75	Doscientos, Salgar
	Betulia	6535,95	5,13	32,88	Salgar, Doscientos
	Betania	6471,86	5,08	37,96	Salgar
	Abejorral	3539,24	2,78	40,74	Aures, Chinchiná
	Ituango	2803,75	2,20	42,94	No hay cartografía
	Fredonia	2516,08	1,97	44,91	Suroeste, Venecia
	Sonsón	2467,69	1,94	46,85	Aures
	Santa Bárbara	2455,04	1,93	48,77	Doscientos
	Caicedo	2435,91	1,91	50,69	No hay cartografía
	Planadas	14376,48	12,14	12,14	Mendarco
	Ataco	10823,28	9,14	21,29	Mendarco
Tolima	Líbano	9233,25	7,80	29,09	Gualí
	Ibagué	8937,44	7,55	36,64	Líbano
	Rovira	7893,57	6,67	43,30	San Simón
	Chaparral	7784,04	6,58	49,88	Líbano
	El Tambo	9282,23	9,90	9,90	Timbío
	Piendamó	8491,13	9,06	18,96	Piendamó
Cauca	Cajibío	7394,78	7,89	26,84	Cajibío
	Morales	7141,58	7,62	34,46	Piendamó
	Páez	5061,91	5,40	39,86	No hay cartografía
	Caldono	4781,43	5,10	44,96	Piendamó, Mondomo
	Inzá	4757,32	5,07	50,04	No hay cartografía
	Caldas	Manizales	6721,04	9,37	9,37
Anserma		6554,47	9,14	18,50	Chinchiná
Aguadas		4467,19	6,23	24,73	Chinchiná, Planes de Neira
Pensilvania		4339,02	6,05	30,78	Pensilvania
Chinchiná		4210,43	5,87	36,64	Chinchiná
Samaná		3879,75	5,41	42,05	Pensilvania
Manzanares		3789,91	5,28	47,33	Pensilvania
Pácora		3749,24	5,23	52,56	Manila, La Palma

\* La suma del porcentaje de las áreas de las unidades cartográficas por municipio es mayor a 50 % en todos los casos.



**Figura 58.** Isotermas de adsorción de fósforo-P, generadas para 15 localidades (fincas) de Huila.

ya la rentabilidad del negocio. Los resultados obtenidos para el primer año, correspondientes a los municipios de Gigante, El Pital y La Plata, identifican a la acidez y el bajo contenido de la materia orgánica como los principales limitantes del suelo en las áreas objeto de estudio (Tabla 19). En una considerable porción de los suelos evaluados se encontraron altos contenidos de fósforo y potasio, lo cual se relacionó con su aplicación, y aunque se halló una situación similar para calcio y magnesio, se atribuyó, principalmente, a la fertilidad natural del suelo.

Entre los micronutrientes, el boro se caracterizó como el elemento más deficiente. Con base en los resultados obtenidos se formularon recomendaciones parciales.

Mediante técnicas de laboratorio se determinaron los requerimientos de cal para la corrección de la acidez de siete suelos distribuidos en la zona muestreada. La respuesta de los suelos, medidos en función de los cambios del pH (Figura 59), presentó algunas variaciones asociadas con el poder tampón del suelo. A partir de las ecuaciones de regresión obtenidas se calculó la cantidad de cal requerida para elevar el pH hasta un valor de 5,5 (límite superior del rango adecuado del pH). Estos

valores fueron utilizados para estimar la dosis de cal que debe incorporarse al suelo antes de la siembra, de acuerdo al rango del pH (Tabla 20)

**Evaluación de una metodología de laboratorio para determinar los requerimientos de cal en suelos de la zona cafetera colombiana.** Esta investigación tiene como objetivo evaluar una metodología rápida de laboratorio para determinar la cantidad de cal necesaria en la corrección de la acidez del suelo. Para ello se seleccionaron 25 suelos de carácter ácido ( $pH < 5,5$ ), procedentes de diferentes departamentos del país. El método patrón corresponde a la incubación del suelo con diferentes dosis de dolomita durante un mes, y el método de laboratorio incluye la titulación directa con hidróxido de calcio- $Ca(OH)_2$  hasta alcanzar un pH igual a 5,5. Se encontraron diferencias entre los dos métodos; por lo tanto, la titulación con  $Ca(OH)_2$  subestimó los requerimientos de cal, un ejemplo se presenta para dos de los suelos evaluados (Figura 60). Pese a lo anterior, los altos valores del coeficiente de determinación- $R^2$  (0,84 a 0,99), sugieren una elevada correlación entre las dos metodologías, para los 20 suelos analizados hasta la fecha; en razón de ello, el siguiente paso consiste

**Tabla 19.** Valores promedio de las propiedades químicas del suelo para tres municipios del departamento de Huila.

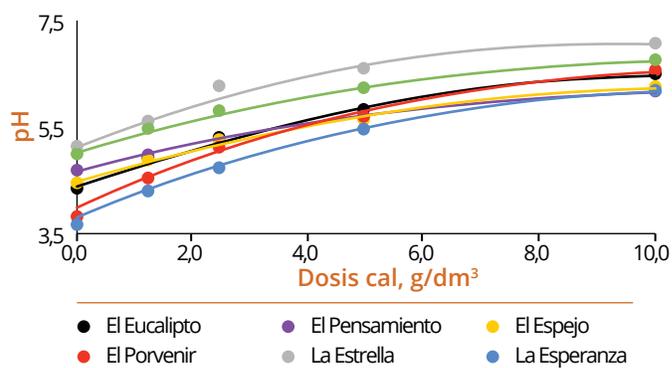
Propiedad química	Municipio		
	Gigante	El Pital	La Plata
pH	4,98	4,89	4,94
Materia orgánica (%)	3,53	5,58	6,71
Fósforo-P ( $mg.kg^{-1}$ )	41,71	52,49	43,85
Potasio-K ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	0,48	0,69	0,91
Calcio-Ca ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	5,11	4,09	6,32
Magnesio-Mg ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	1,41	1,30	1,15
Aluminio-Al ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	0,63	2,31	2,26
Sodio-Na ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	0,34	0,23	0,29
Azufre-S ( $mg.kg^{-1}$ )	8,04	9,40	7,25
CIC ( $cmol_c.kg^{-1}$ )	18,19	21,56	26,39
Conductividad eléctrica ( $dS.m^{-1}$ )	0,36	0,54	0,52
Hierro-Fe ( $mg.kg^{-1}$ )	390,26	215,46	375,68
Cobre-Cu ( $mg.kg^{-1}$ )	2,84	1,65	2,99
Manganeso-Mn ( $mg.kg^{-1}$ )	41,82	17,66	24,95
Zinc-Zn ( $mg.kg^{-1}$ )	6,09	3,80	6,24
Boro-B ( $mg.kg^{-1}$ )	0,20	0,26	0,26

en obtener para la totalidad de las muestras una expresión matemática que permita expresar la dosis de cal sugerida por el método de titulación, de acuerdo a las propiedades del suelo.

**Evaluación de la fertilización química y orgánica en el incremento de las poblaciones de bacterias edáficas que metabolizan las formas inorgánicas del nitrógeno.** Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada, tanto con urea como pulpa de café descompuesta, en las poblaciones de bacterias del suelo que metabolizan las formas inorgánicas del nitrógeno ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ). A partir de los ensayos preliminares se diseñaron por componentes, los medios de cultivo para el crecimiento de las bacterias fijadoras de nitrógeno, nitrificantes y desnitrificantes, cuya distinción de aislamiento se basó en los requerimientos nutricionales específicos de estos grupos microbianos. Se encontraron las condiciones ambientales requeridas para las poblaciones nitrificantes y desnitrificantes. Para las bacterias nitrificantes debe considerarse la oscuridad y agitación constante durante 30 días, debido a su lento crecimiento en el laboratorio. En cuanto a las bacterias desnitrificantes, se evaluaron tres metodologías para generar las condiciones de anaerobiosis. Se encontró que no es necesario eliminar previamente el oxígeno de las diluciones y del medio de cultivo antes de realizar la siembra de estas poblaciones, y se determinó que para generar anaerobiosis durante la incubación, el uso de un contenedor y un sobre generador de anaerobiosis permiten el óptimo crecimiento de estas bacterias. Se evaluó la periodicidad para realizar las evaluaciones microbiológicas en el laboratorio, entre 15 y 30 días, y se registró que en particular las bacterias nitrificantes después de 15 días de aplicados los tratamientos, presentaron crecimiento positivo en una unidad experimental cuyo tratamiento fue urea, mientras que a los 30 días hubo crecimiento positivo en dos unidades experimentales, por lo tanto, se determinó que las evaluaciones deben realizarse mensualmente. Como criterios de selección, incluyendo turbidez, se tuvo en cuenta el cambio de color en el medio de cultivo como indicador de pH, fenómeno asociado con los procesos de nitrificación, desnitrificación y fijación de nitrógeno; para corroborar dichos procesos, se estandarizó la evaluación cualitativa de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$  evaluados después del período de incubación en las muestras que cumplan con los criterios descritos (Figura 61). Para el recuento de las poblaciones microbianas, se determinó que el fluorocromo permite la tinción de células viables. En el caso de los análisis de suelo, se estandarizó la metodología para la determinación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ .

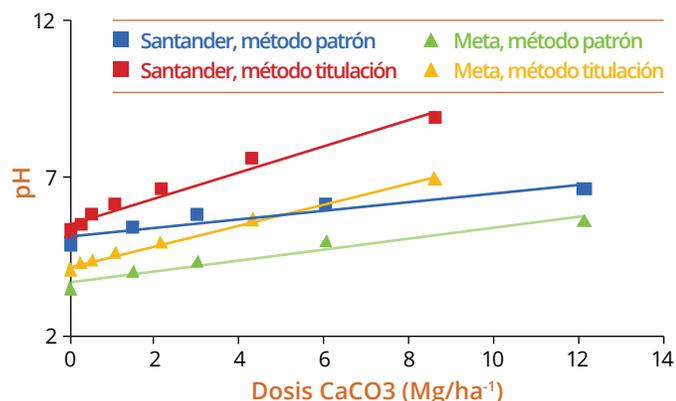
**Tabla 20.** Aproximación generalizada de la recomendación de cal para un hoyo de 30 x 30 x 30 cm, según el valor del pH del suelo.

pH	% v/v
3,5	184
3,6	175
3,7	166
3,8	158
3,9	149
4,0	140
4,1	131
4,2	122
4,3	113
4,4	104
4,5	95
4,6	86
4,7	78
4,8	69
4,9	60
5,0-5,5	50
>5,0	0



**Figura 59.** Variaciones del pH del suelo en función de la dosis de cal dolomita aplicada, en siete suelos de la zona cafetera de Huila.

**Disponibilidad de cationes en la solución del suelo y su relación con las propiedades edáficas.** Investigación, cofinanciada por la ONG Solidaridad. Tuvo como objetivo determinar la disponibilidad de cationes en la solución del suelo y su relación con las propiedades edáficas. Se emplearon suelos provenientes de cinco unidades cartográficas de la zona cafetera central de Colombia y, por cada unidad cartográfica, se seleccionó



**Figura 60.** Variación del pH en función de dosis de cal (carbonato de calcio-CaCO<sub>3</sub>), generada por dos métodos en suelos de Cubarral (Meta) y Floridablanca (Santander).

un lote cafetero, en el que se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades y se analizaron las características físicas, químicas y mineralógicas, incluyendo la concentración de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en la solución.

En las cinco unidades el catión predominante fue el Ca<sup>2+</sup>, seguido por el Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>, y las concentraciones de éstos para la fase de cambio y la solución, en la mayoría de las unidades, fueron iguales en los primeros 30 cm de profundidad y diferentes entre unidades. Las unidades

Catarina, Doscientos y Guamal, presentaron los valores más altos, y Quindío y Chinchiná los más bajos, lo cual se relacionó con el material parental, ya que las tres primeras provienen de rocas máficas y ultramáficas, y las dos últimas de materiales de composición intermedia.

Las variaciones de los elementos estudiados en la solución del suelo fueron explicados mediante modelos lineales que incluyeron nutrientes del suelo y propiedades como CIC, pH y contenido de arcillas (Tablas 21 y 22). Por consiguiente; los cambios de Ca<sup>2+</sup> se explicaron desde 36,97% hasta 88,11% por su contenido en la fase de cambio, las de Mg<sup>2+</sup> desde 32,23% hasta 97,30%, y las de K<sup>+</sup> desde 79,06% hasta 94,68%.

### Variabilidad de la materia orgánica en suelos de la zona cafetera del departamento de Risaralda.

La materia orgánica del suelo (MO) cumple un papel importante en la fertilidad del medio edáfico, al determinar los requerimientos de nitrógeno del cultivo de café y también como reservorio de carbono y de nutrientes en el perfil. En esta investigación, cofinanciada por la ONG Solidaridad, se evaluó la variabilidad horizontal y vertical de la MO en dos unidades cartográficas de suelo de Risaralda (Chinchiná y 200).



**Figura 61.** Determinación cualitativa de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, empleando los reactivos difenilamina y nitríver 2, respectivamente. **a.** Coloración amarilla del medio con el cual se asume presencia de poblaciones de bacterias nitrificantes (crecimiento +) y la confirmación mediante prueba cualitativa para presencia de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitrato +); **b.** Coloración rosa del medio con el cual se asume presencia de poblaciones de bacterias desnitrificantes (crecimiento +) y su confirmación mediante prueba cualitativa para presencia de NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (nitrito +).

**Tabla 21.** Modelos de regresión lineal para las concentraciones de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en la solución del suelo en función de la fase de cambio de las unidades cartográficas.

Modelo (n = 80)	R <sup>2</sup>
$Ca^{2+}_{ss} = 0,1541 + 5,8308 * K_{fc} + 0,1782 *** P_{fc} + 0,1437 *** Mn_{fc}$	52,56
$Mg^{2+}_{ss} = 2,6494 * + 2,7449 * K_{fc} - 53,1747 * Na_{fc} - 0,0125 ** Fe_{fc} + 0,0569 *** Mn_{fc} + 0,5451 *** Cu_{fc}$	74,24
$K^{+}_{ss} = -24,2877 ** + 3,8089 * pH_{fc} + 22,0402 *** K_{fc} + 0,1880 *** P_{fc} + 0,0194 ** Fe_{fc} - 0,0269 * Mn_{fc}$	80,27

ss = solución del suelo; fc = fase de cambio; \* = valor p<0,05≥0,01; \*\* = valor p<0,01≥0,001; \*\*\* = valor p<0,001

**Tabla 22.** Modelos de regresión lineal para las concentraciones de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> en la solución del suelo en función de la fase de cambio, para cada unidad cartográfica.

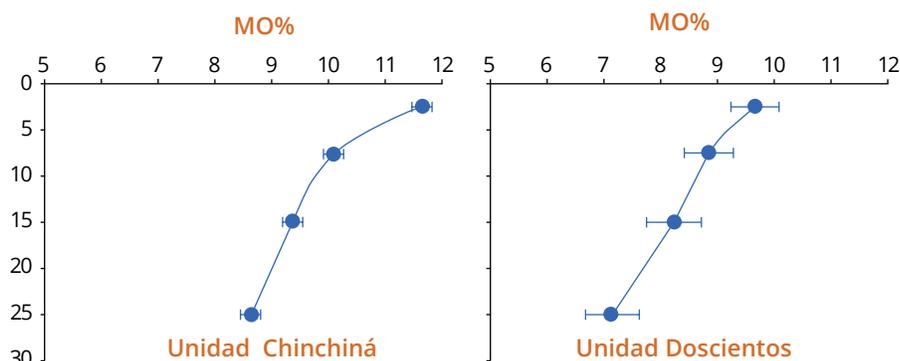
Unidad	Modelo (n = 16)	R <sup>2</sup>
Chinchiná	$Ca^{2+}_{ss} = -4,9884 * + 136,0290 *** K_{fc} - 0,7913 * P_{fc}$	74,59
Doscientos	$Ca^{2+}_{ss} = -60,6472 * + 3,4618 * CIC$	36,97
Guamal	$Ca^{2+}_{ss} = -20,4681 * + 0,1748 * Mn_{fc} + 1,9400 ** S_{fc}$	88,11
Quindío	$Ca^{2+}_{ss} = 36,2045 ** + 40,8509 *** Mg_{fc} - 1,6369 * Ar$	65,02
Catarina	$Mg^{2+}_{ss} = 0,0861094 + 2,19993 ** Mg_{fc}$	47,74
Chinchiná	$Mg^{2+}_{ss} = 22,4601 ** - 4,48932 ** pH_{fc} + 6,5312 ** Mg_{fc}$	67,75
Doscientos	$Mg^{2+}_{ss} = 3,41542 + 1,7292 * Zn_{fc}$	32,23
Guamal	$Mg^{2+}_{ss} = -120,0 *** + 20,8989 *** pH_{fc} + 0,05369 * Mn_{fc} - 1,59292 * Zn_{fc} + 0,856086 ** S_{fc} + 17,2931 * K_{fc}$	97,30
Quindío	$Mg^{2+}_{ss} = 7,65861 * + 11,1286 *** Mg_{fc} - 0,366762 * Ar$	62,50
Catarina	$K^{+}_{ss} = -2,0681 + 33,9563 *** K_{fc}$	94,68
Chinchiná	$K^{+}_{ss} = 24,1982 ** - 4,4647 ** pH_{fc} + 24,5280 *** K_{fc} - 0,1535 ** Ar$	79,77
Doscientos	$K^{+}_{ss} = -3,9774 * + 21,5759 *** K_{fc}$	89,08
Guamal	$K^{+}_{ss} = -2,5889 * + 21,0159 *** K_{fc}$	79,06
Quindío	$K^{+}_{ss} = 17,6365 + 0,6972 *** Mn_{fc} - 1,2054 * Ar$	81,70

ss = solución del suelo; fc = fase de cambio; \* = valor p<0,05≥0,01; \*\* = valor p<0,01≥0,001; \*\*\* = valor p<0,001

En la Figura 62 se presentan los cambios de la MO a través del perfil para las dos unidades del suelo. La MO exhibió menor variabilidad por profundidad en la unidad Chinchiná, fue más alta a nivel superficial y disminuyó a medida que se profundizó en el perfil. En Chinchiná los contenidos de MO fueron adecuados para café en todo el perfil, mientras que en la unidad 200 los valores fueron limitantes a partir de los 20 cm.

Con respecto a la variación horizontal por profundidad, en Chinchiná

se presentaron mayores cambios hacia la parte MO del lote (Figura 63), donde se registraron los mayores contenidos de MO, mientras que hacia el Norte se encontraron las zonas

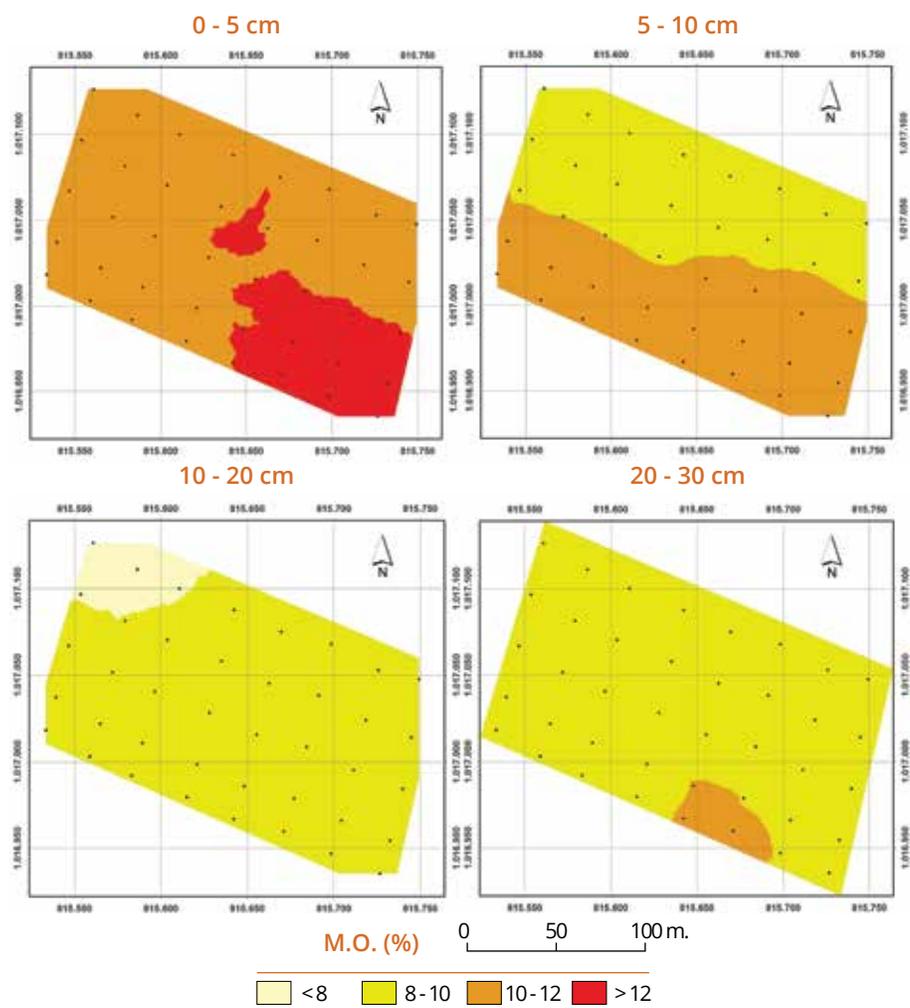


**Figura 62.** Variaciones de la MO a través del perfil en las dos unidades de suelo.

### Evaluación del efecto de herbicidas pre-emergentes y post-emergentes en el control de arvenses.

El experimento se realizó en la Estación Experimental La Catalina, en un cafetal de Variedad Castillo® en etapa de levante (seis meses de edad). Con este trabajo se está evaluando el control de las arvenses en la zona de raíces (plato), a partir de la aplicación de cinco herbicidas pre-emergentes, cuya variable de respuesta es el porcentaje de cobertura viva de las arvenses que van emergiendo en el plato. La aplicación de los productos se realiza nuevamente cuando el porcentaje de cobertura viva de los platos con herbicida alcance un 20%-25%. Adicionalmente, se cuenta con el control manual y un testigo absoluto (Tabla 23).

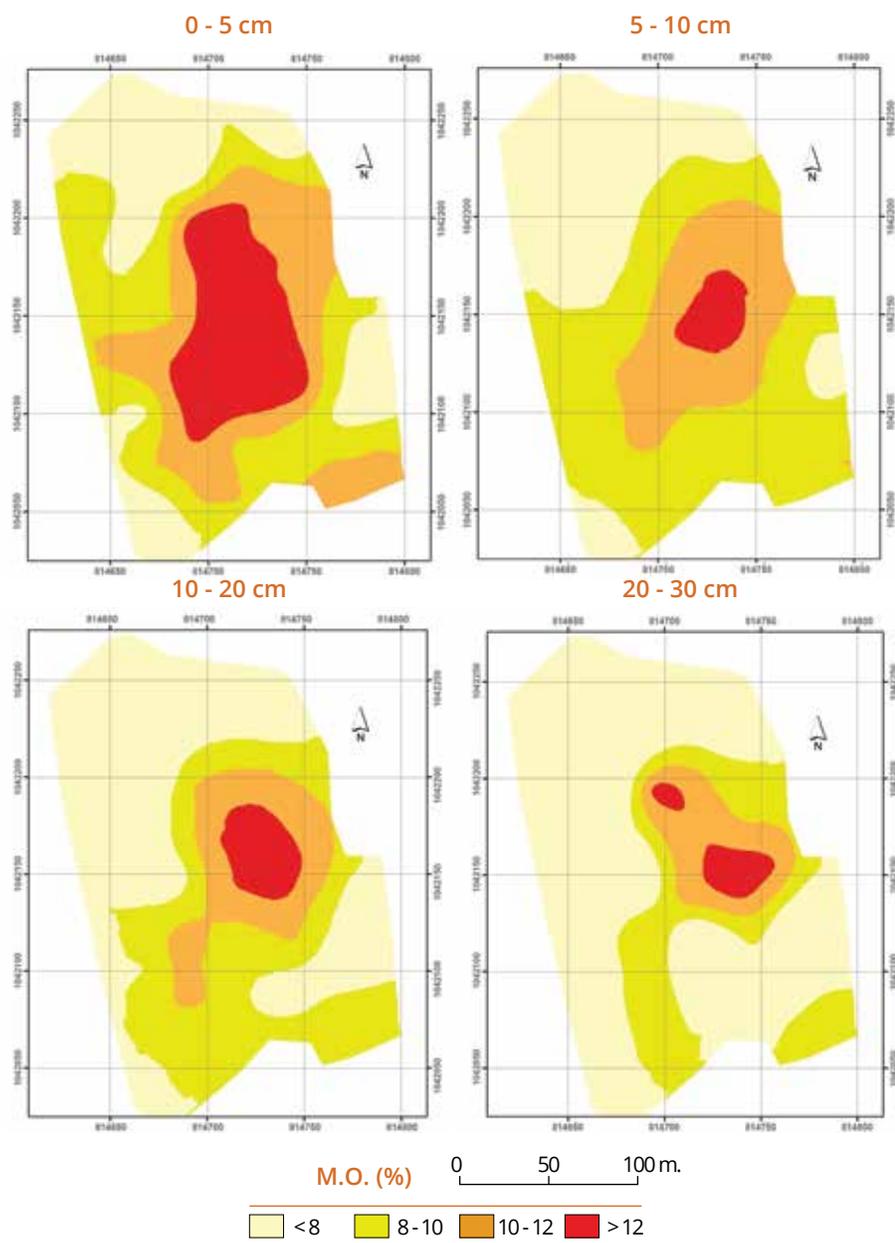
Las primeras cuatro evaluaciones son resultados obtenidos de la primera aplicación de los productos, desde diciembre del 2014 hasta el mes de abril del año 2015, en éstas se muestra que pasados 120 días después de su aplicación los herbicidas oxyfluorfen, diurón y acetoclor ofrecen mayor control que los demás tratamientos, al presentar un 20% de cobertura (Tabla 24). En contraste, los productos pendimentalina y s-metolaclor alcanzaron el 40%. El control manual requirió la limpieza de los platos al alcanzar el 60% de cobertura, con lo cual se disminuye el porcentaje obtenido en las tercera y cuarta evaluaciones. En el testigo absoluto las arvenses cubrieron la totalidad del plato (100%), aproximadamente a los 100 días, razón por la cual no se obtuvieron datos en la cuarta evaluación.



**Figura 63.** Mapas de variabilidad horizontal de la MO por profundidad en el suelo de la unidad Chinchiná.

con mayor limitación para el cultivo de café en términos de MO. La variación horizontal de la MO en la unidad 200 (Figura 64), indica que los mayores contenidos se presentaron en la parte media, mientras que los contenidos más bajos se encontraron hacia la parte Norte del lote.

A partir de la técnica NIRS, para los dos suelos, pudieron diferenciarse las muestras entre las unidades de suelo dentro de la región NIR del espectro (800-2498 nm) (Figura 65) y se determinó una ecuación calibrada para la predicción de la MO, con un coeficiente de determinación- $R^2$  superior a 0,9 y una explicación de la variación superior a 0,9, indicando el potencial de esta técnica para estimar la MO del suelo, y que podría incluirse dentro de los análisis de rutina cuando se requiera realizar múltiples mediciones, pues en general, el NIRS permite tener datos más rápido y sin el uso de reactivos químicos, que pueden ser riesgosos para la salud y el medio ambiente.



**Figura 64.** Mapas de variabilidad horizontal de la MO, por profundidad en el suelo de la unidad 200.

Los datos registrados desde la quinta a la novena evaluación corresponden a la segunda aplicación de los tratamientos, desde el mes de mayo hasta septiembre del año 2015. Para éstas, pasados 140 días de aplicar los herbicidas en el plato, se evidencia que los productos oxyfluorfen, diurón,

acetoclor y pendimetalina fueron los de mayor control con coberturas alrededor del 20% (Tabla 25), mientras que el s-metolaclor alcanzó un 34% de cobertura. Tanto el control manual como el testigo absoluto alcanzaron un porcentaje de cobertura del 50%, por lo que no fue necesaria alguna

intervención y se mantuvo el porcentaje en ascenso durante este período de tiempo.

### Alternativa biotecnológica para mejorar el suministro de fósforo en el cultivo del café.

A partir de 84 cepas de hongos, obtenidas en diferentes suelos de la zona cafetera colombiana, se efectuó la recuperación del cepario y la verificación de su capacidad de solubilización de roca fosfórica, observada inicialmente. Posterior a este procedimiento, se hizo un nuevo aislamiento y cuantificación de microorganismos, representado en unidades formadoras de colonia (UFC), en muestras de suelo que fueron tomadas en los sitios de interés. En general, se observó que la abundancia relativa de hongos solubilizadores de fosfatos (HSP), respecto al total de hongos aislados, fue diferente para los suelos evaluados (Figura 66).

A continuación, se seleccionaron 12 cepas de hongos, que además de mantener la capacidad de solubilización, desarrollarán estructuras a través de las cuales pudiera ser posible su identificación microscópica, al menos a escala de género. Complementariamente, se efectuó la caracterización de sustancias orgánicas secretadas durante su crecimiento, con el fin de generar criterios adicionales para su selección y posterior evaluación en condiciones de almácigo.

La Figura 67 muestra el tipo de ácido orgánico y su concentración, para cada hongo solubilizador de fosfato (HSP), seleccionado.

Tabla 23. 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>	2,0 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 24. Control de las arvenses en plantas de café en etapa de levante a partir de la primera aplicación del herbicida pre-emergente.

Evaluación	Tratamiento	PC	EE
1	1	1,148 c	0,16
	2	1,546 c	0,24
	3	10,537 b	1,37
	4	2,434 c	0,80
	5	8,616 b	0,57
	6	22,684 a	2,78
	7	23,347 a	2,98
2	1	2,009 c	0,27
	2	2,795 c	0,32
	3	19,900 b	0,89
	4	3,770 c	1,02
	5	18,075 b	1,76
	6	54,125 a	1,20
	7	55,988 a	1,45
3	1	7,264 c	0,61
	2	8,113 c	0,52
	3	32,000 b	1,45
	4	10,075 c	1,11
	5	28,850 b	2,87
	6	4,597 d	0,36
	7	89,100 a	0,57
4	1	16,700 b	0,77
	2	19,413 b	1,12
	3	41,700 a	2,13
	4	19,344 b	1,07
	5	40,850 a	3,86
	6	14,163 b	1,27
	7	-	-

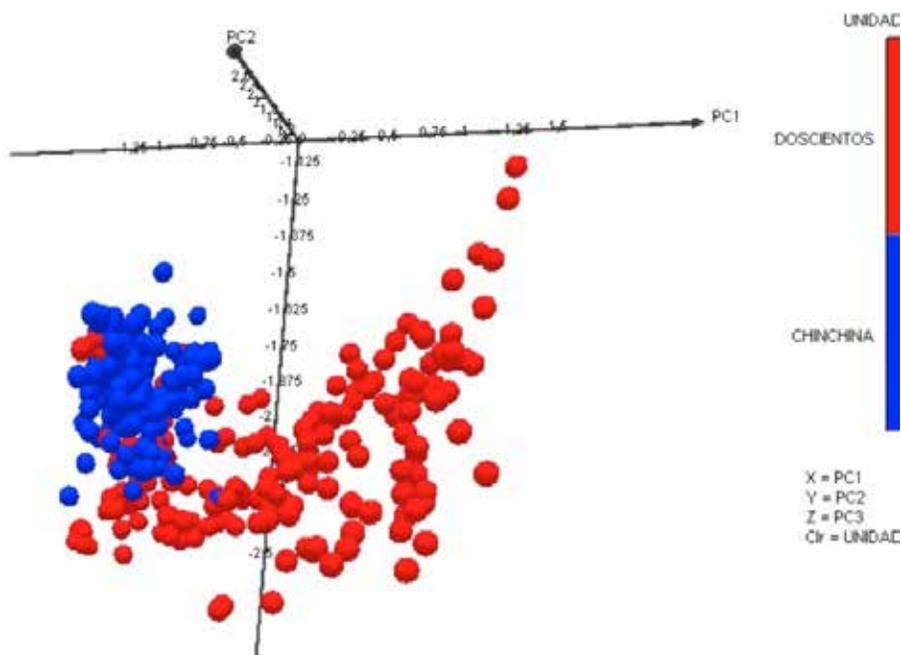
\*Medias con letra diferente indican diferencia estadística, Tukey 5%.  
PC: Porcentaje de cobertura. EE: Error Estándar.

**Respuesta del café a la fertilización con Agrimins.** Mediante la realización de esta investigación, se busca determinar la respuesta de café en producción y calidad, al suministro de micronutrientes, empleando como fuente comercial Agrimins®. Para ello, se está evaluando el efecto de siete tratamientos en la Granja Jorge Villamil (Gigante, Huila) y en las Estaciones Experimentales El Tambo (El Tambo, Cauca) y El Rosario (Venecia, Antioquia), así: 1. Testigo sin micronutrientes; 2. 150 kg.ha-año<sup>-1</sup> de Agrimins; 3. 200 kg.ha-año<sup>-1</sup> de Agrimins; 4. 250 kg.ha-año<sup>-1</sup> de Agrimins; 5. 300 kg.ha-año<sup>-1</sup> de Agrimins; 6. 3,0 kg.ha-año<sup>-1</sup> de boro, aplicado a través de una fuente soluble; y 7. 3,0 kg.ha-año<sup>-1</sup> de cinc, aplicado como sulfato o quelato de cinc.

#### Efecto de los tratamientos en la producción.

La producción de café cereza obtenida durante el año 2016 (enero a agosto) en las Estaciones Experimentales El Tambo y El Rosario, fue estadísticamente igual en todos los tratamientos (Figura 68); con respecto a la Granja Jorge Villamil hubo diferencias entre el testigo sin aporte de micronutrientes y los tratamientos 4 y 6. En esta misma localidad, la producción registrada para el tratamiento 7 fue menor con respecto al tratamiento 6. Para el acumulado de la producción (2015 y 2016) los promedios obtenidos fueron iguales.

**Efecto de los tratamientos en la concentración foliar de los nutrientes.** Los resultados obtenidos en la Estación El Tambo y la Granja Jorge Villamil, correspondientes al muestreo que se realizó en el mes de diciembre



**Figura 65.** Plot a partir de un análisis de componentes principales con los espectros obtenidos en la región NIR (800 a 2.498 nm) para el contenido de materia orgánica de las unidades de suelos Chinchiná y Doscientos.

(Gigante, Huila). En la Figura 71 se presenta la acumulación de macro y micronutrientes en los diferentes órganos de la planta.

**Respuesta de café al suministro de fertilizantes y enmiendas durante la etapa de almácigo.** Contar con un colino vigoroso es el primer paso para el establecimiento exitoso de los cafetales y su permanencia en el campo; de allí, la necesidad de llevar a cabo labores que contribuyan en su obtención, entre las cuales la nutrición ocupa un lugar importante. 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.

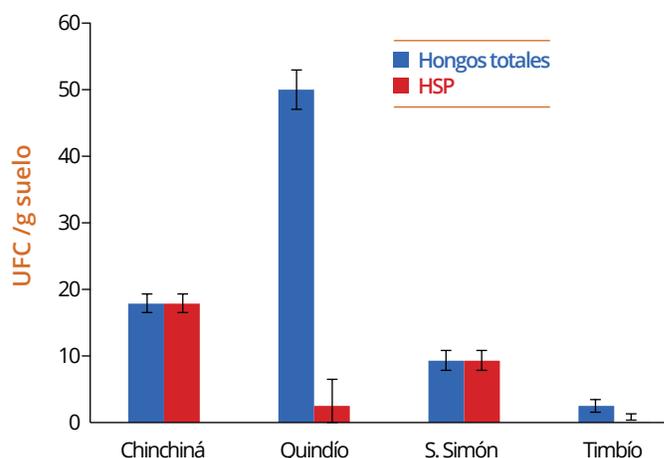
de 2015, indicaron efecto de los tratamientos para boro; en este sentido, los valores promedio de los tratamientos que no recibieron aporte de boro (1 y 7) fueron menores que los demás, siendo similares las concentraciones en los demás tratamientos (Figura 69).

**Efecto de los tratamientos en la calidad física del fruto.** La relación cc:cps, evaluada en El Tambo, se vio afectada por la aplicación de los elementos suministrados, en este sentido, todos los tratamientos presentaron valores más bajos frente al testigo; además, el promedio obtenido con la dosis de 250 kg.ha-año<sup>-1</sup> de Agrimins fue menor que todos los tratamientos (Figura 70).

**Extracción de nutrientes por el café.** Uno de los aspectos importantes en los estudios de la nutrición vegetal se relaciona con la extracción de nutrientes por la planta durante las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. El objetivo de este trabajo de investigación consiste en determinar la extracción de nutrientes por el café en la región cafetera de Colombia. Durante esta vigencia se estudió la extracción de nutrientes por plantas de café en la etapa de almácigo, en la Estación Experimental El Tambo (El Tambo, Cauca) y la Granja Jorge Villamil

Durante esta vigencia se desarrollaron los siguientes experimentos:

**Primer experimento.** Se evaluó el efecto de 45 tratamientos sobre el crecimiento de las plantas de café en dos suelos del departamento de Risaralda: unidades Chinchiná y Doscientos. Los tratamientos consistieron en diferentes proporciones de pulpa y gallinaza, micorriza, fósforo y cal. Los tratamientos fueron



**Figura 66.** Abundancia relativa de hongos solubilizadores de fosfato-HSP, en el total de cepas de hongos aislados.

**Tabla 25.** Control de las arvenses en plantas de café en etapa de levante a partir de la segunda aplicación del herbicida pre-emergente.

Evaluación	Tratamiento	PC	EE
5	1	2,863 e	0,20
	2	3,313 d	0,10
	3	4,550 c	0,34
	4	3,575 d	0,09
	5	5,475 b	0,48
	6	7,288 a	0,17
	7	7,213 a	0,13
6	1	6,450 c	0,25
	2	6,875 c	0,34
	3	8,100 b	0,41
	4	6,938 c	0,53
	5	8,313 b	0,35
	6	13,863 a	1,05
	7	12,825 a	0,38
7	1	8,800 c	0,23
	2	10,475 b	0,25
	3	10,813 b	0,38
	4	9,838 c	0,60
	5	11,163 b	0,24
	6	20,388 a	0,85
	7	21,688 a	0,29
8	1	12,575 c	0,20
	2	14,100 c	0,42
	3	14,988 b	0,24
	4	14,550 b	0,45
	5	14,663 b	0,23
	6	38,413 a	1,46
	7	37,588 a	0,74
9	1	19,263 c	0,54
	2	20,838 c	0,46
	3	21,200 c	0,71
	4	19,738 c	0,37
	5	34,500 b	6,07
	6	50,888 a	1,27
	7	54,263 a	0,53

Medias con letra diferente indican diferencia estadística, Tukey 5%. PC: Porcentaje de cobertura. EE: Error Estándar.

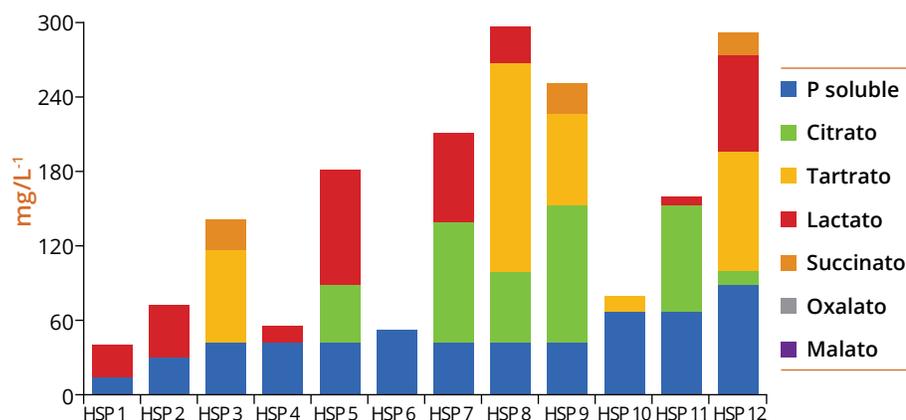
comparados frente al testigo absoluto y testigo de referencia (mezcla de suelo y pulpa en proporción 4 a 1, más 1 g/planta de fósforo).

Para el suelo de la unidad Chinchiná, los primeros 11 tratamientos con los promedios más altos de la materia seca total de las plantas, y diferentes al testigo, fueron en su orden:

Tto	Descripción
6	Suelo:Gallinaza en relación 9:1
19	Suelo:Gallinaza en relación 4:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
18	Suelo:Gallinaza en relación 4:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
43	1,4 g/dm <sup>3</sup> de CaCO <sub>3</sub> + 2,1 g.dm <sup>-3</sup> de MgCO <sub>3</sub> + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
42	2,1 g/dm <sup>3</sup> de CaCO <sub>3</sub> + 1,4 g.dm <sup>-3</sup> de MgCO <sub>3</sub> + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
17	Suelo:Gallinaza en relación 9:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
44	0,7 g/dm <sup>3</sup> de CaCO <sub>3</sub> + 2,8 g.dm <sup>-3</sup> de MgCO <sub>3</sub> + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
41	2,8 g/dm <sup>3</sup> de CaCO <sub>3</sub> + 0,7 g.dm <sup>-3</sup> de MgCO <sub>3</sub> + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
16	Suelo:Gallinaza en relación 9:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
7	Suelo:Gallinaza en relación 6:1
15	Suelo:Pulpa en relación 4:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	Testigo absoluto

Con respecto al suelo de la unidad Doscientos, los primeros 11 tratamientos con los promedios más altos de la materia seca total de las plantas, y diferentes al Testigo, fueron en su orden:

Tto	Descripción
9	Suelo:Gallinaza en relación 3:1
16	Suelo:Gallinaza en relación 9:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
8	Suelo:Gallinaza en relación 4:1
23	Suelo:pulpa en relación 9:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 20 g de micorriza
18	Suelo:Gallinaza en relación 4:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
17	Suelo:Gallinaza en relación 9:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
19	Suelo:Gallinaza en relación 4:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
7	Suelo:Gallinaza en relación 6:1
32	Suelo:pulpa en relación 9:1 + 1 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 20 g de dolomita
6	Suelo:Gallinaza en relación 9:1
15	Suelo:Pulpa en relación 4:1 + 2 g/planta de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	Testigo absoluto



**Figura 67.** Sustancias orgánicas generadas durante el crecimiento de los hongos solubilizadores de fosfato-HSP objetos de estudio.

En las Figuras 72 y 73 se presentan los valores promedio de la materia seca total de las plantas en respuesta a los tratamientos descritos para las unidades Chinchiná y Doscientos, respectivamente. El mayor crecimiento de las plantas en las dos unidades del suelo se logró con el empleo de gallinaza y algunas combinaciones de cal.

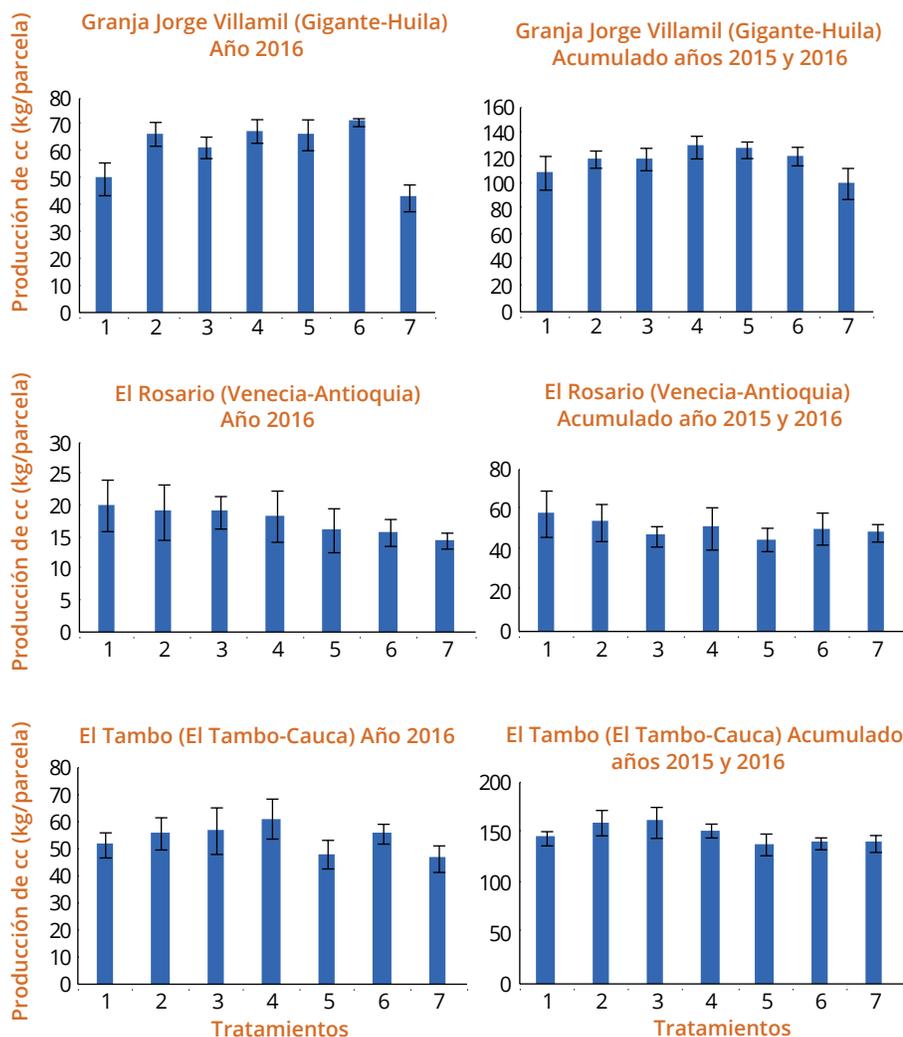
**Segundo experimento.**

Para un suelo del municipio de Cubarral (Meta) se evaluó el efecto del encalado (dosis de 0; 1,25; 2,50; 5,0; y 10,0 g.dm<sup>-3</sup> de caliza dolomita) en el crecimiento de café y las propiedades químicas del suelo durante la fase de almácigo.

El pH del suelo se incrementó conforme a las dosis aplicadas (Figura 74), mientras que el aluminio intercambiable-Al<sup>3+</sup> disminuyó; en cuanto a la planta se refiere, la respuesta expresada en la biomasa seca total fue de tipo cuadrático, logrando el máximo punto de crecimiento con 3,7 g de cal por decímetro cúbico de suelo, valor que corresponde a un pH=4,5, el cual es bajo, frente a lo obtenido para otros suelos de la región cafetera del país (entre 5,0 y 5,5).

**Respuesta de café en la etapa de almácigo a cambios en las relaciones calcio y magnesio generados por el encalamiento.**

El manejo de la acidez del suelo y la nutrición balanceada son dos prácticas importantes para obtener almácigos vigorosos. Este experimento, cofinanciado por la ONG Solidaridad, tiene como propósito determinar el efecto de los cambios en las relaciones de calcio-Ca y magnesio-Mg,



**Figura 68.** Producción de café cereza (cc) en respuesta a los tratamientos. Las barras corresponden al error estándar.

generados por el encalamiento, sobre el crecimiento de café durante la etapa de almácigo.

Se seleccionaron dos suelos ácidos de la zona cafetera (pH menor o igual de 4,5), contrastantes en su origen; uno perteneciente a la unidad Chinchiná (Risaralda) y el otro un oxisol (Meta). Inicialmente se estimó la cantidad del material encalante necesario para neutralizar la acidez (hasta lograr valores de pH entre 5,0 y 5,5); posteriormente se suministró dicha cantidad mediante el empleo de carbonatos de calcio y/o de magnesio, variando las relaciones porcentuales entre estos elementos, respectivamente: tratamiento 1=100:0, tratamiento 2=80:20, tratamiento 3=60:40, tratamiento 4=40:60, tratamiento 5=20:80 y tratamiento 6=100:0. Posteriormente, los suelos tratados fueron utilizados como sustrato para la siembra de plántulas de café Variedad Castillo®. Transcurrido este tiempo se determinó la materia seca de las plantas, con el fin de correlacionarla frente a las relaciones de Ca y Mg intercambiables, generadas por los tratamientos.

En las dos unidades de suelo los tratamientos modificaron los contenidos de calcio y magnesio intercambiable (Figura 75), resultado que se vio reflejado tanto en las concentraciones foliares de estos dos nutrientes, evaluados en el suelo de Meta (Figura 76) como en la biomasa seca total de las plantas (Figura 77). Los cambios en las relaciones de Ca:Mg afectaron de manera

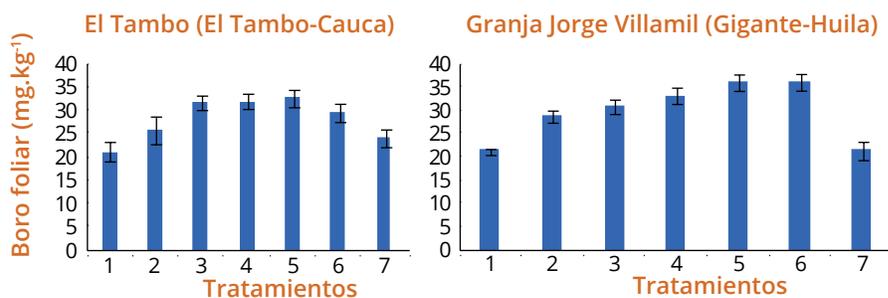


Figura 69. Concentración foliar de boro en respuesta a los tratamientos en la Estación Experimental El Tambo y la Granja Experimental Jorge Villamil.

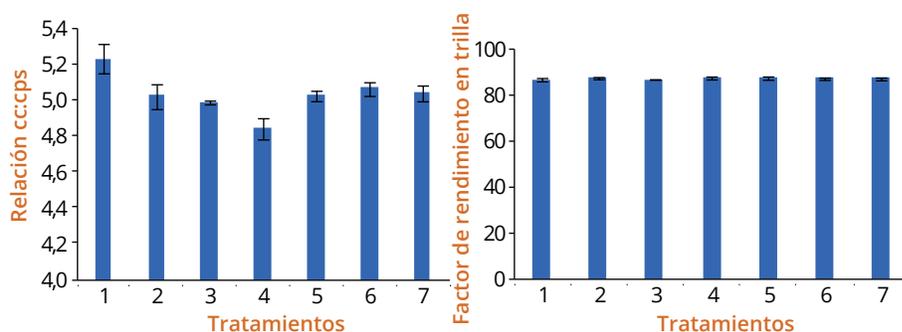


Figura 70. Relación de café cereza café: pergamino seco (cc:cps) y factor de rendimiento en trilla de café en respuesta a los tratamientos, en la Estación Experimental El Tambo.

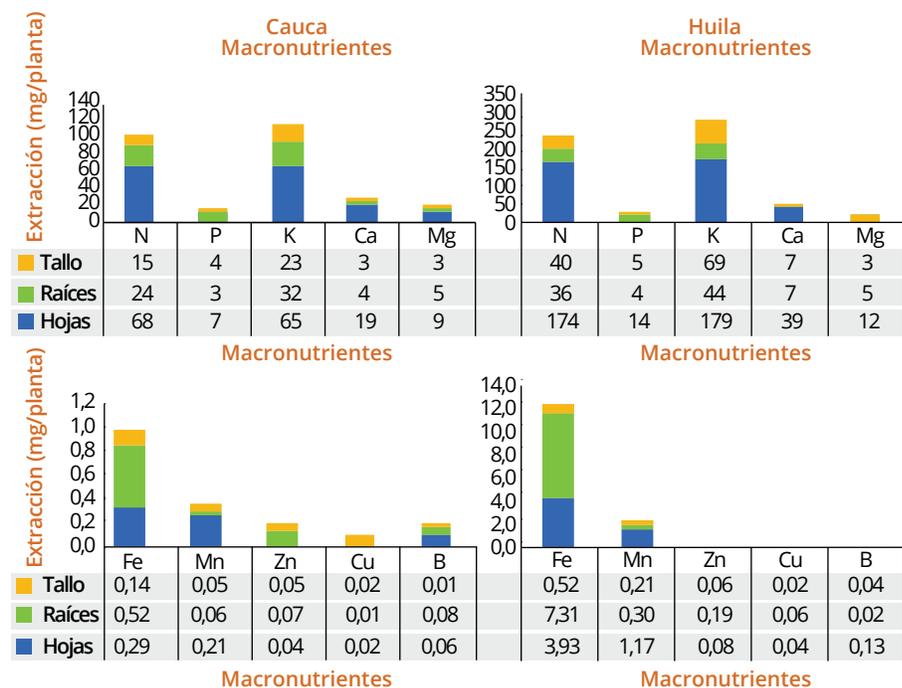
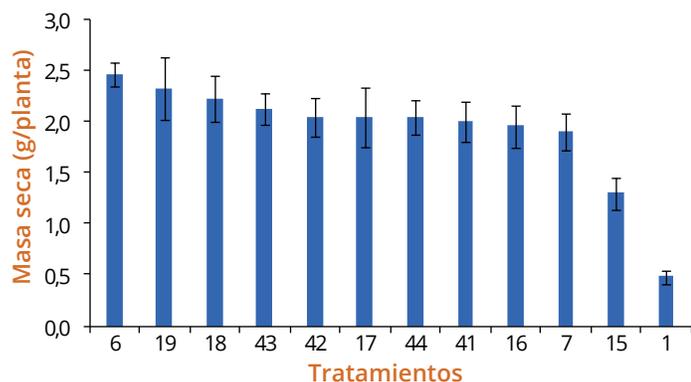
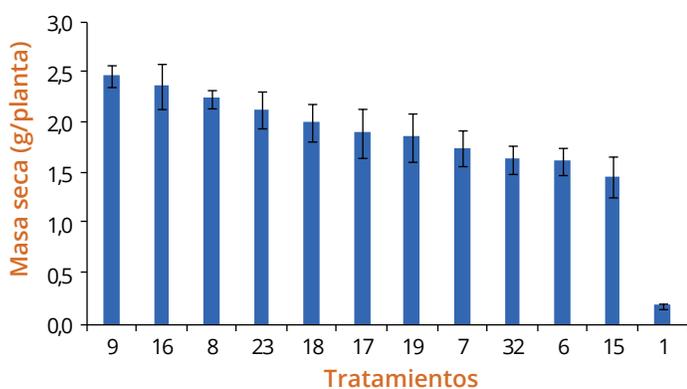


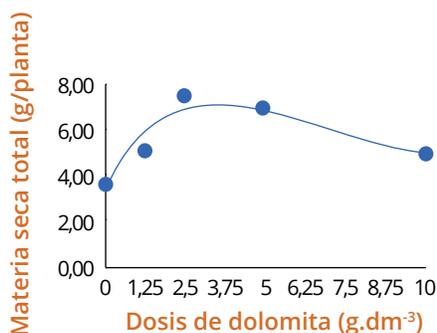
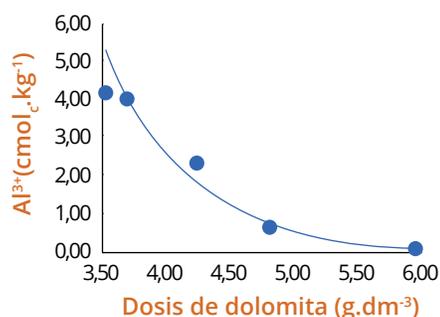
Figura 71. Cantidad extraída de macro y micronutrientes por plantas de café durante la etapa de almácigo, en dos localidades.



**Figura 72.** Materia seca total de las plantas de café en la etapa de almácigo, en respuesta a 12 de los 45 tratamientos de fertilización y encalamiento evaluados para la unidad Chinchiná (Risaralda).



**Figura 73.** Materia seca total de las plantas de café en la etapa de almácigo en respuesta a 12 de los 45 tratamientos de fertilización y encalamiento evaluados para la unidad Doscientos (Risaralda).



**Figura 74.** Efecto de dosis de caliza dolomítica en el aluminio intercambiable- $Al^{3+}$  y materia seca total de café.

diferencial el crecimiento de las plantas (Figura 78); Por lo tanto, para un rendimiento relativo del 90%, las relaciones Ca/Mg en la unidad Chinchiná estuvieron entre 1,0 y 11,0, mientras que para la unidad 200 entre 0,5 y 2,0.

**Alternativas para la fertilización de cafetales en producción con fuentes simples en mezcla física y complejos granulados. Convenio CEN-570-2010.** Esta investigación, desarrollada con la cofinanciación de la empresa Yara de Colombia, en cuatro localidades de la zona cafetera colombiana, tuvo como objetivo evaluar el efecto de algunas alternativas de fertilización (fuentes simples en mezcla física y complejos granulados) en la producción de café (Tabla 26).

El experimento se realizó bajo el diseño de bloques completos al azar, en las siguientes localidades: Finca El Agrado (Quindío) y en las Estaciones Experimentales Naranjal (Caldas), El Rosario (Antioquia) y San Antonio (Santander).

**Finca El Agrado (Quindío).** No hubo efecto de los tratamientos en la producción de café cereza durante los años 2010, 2011 y 2013 (Tabla 27), ni en el acumulado del ciclo productivo, es decir, para el promedio acumulado de los cuatro años de cosecha (Figura 79).

**Estación Experimental Naranjal.** No hubo efecto diferencial en la cosecha registrada durante los años 2012, 2013 y 2014. En 2015, la producción alcanzada con la mezcla de Hydrán + Nitabor + KCl, fue 25% inferior a la registrada con el fertilizante 17-6-18-2 (Tabla 28). En vista

de que este comportamiento no se hizo evidente durante los otros años de evaluación, y de la certeza con la cual se estaría tomando la decisión de aceptar las diferencias (potencia de la prueba < 22%), el resultado no se consideró contundente para efectuar una recomendación práctica. El fenómeno de similitud de producción entre los diferentes tratamientos, se reflejó en el acumulado de los 4 años de producción (Figura 80).

**Estación Experimental San Antonio.** Para los

Tabla 26. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Cantidad de fertilizante (kg.ha.año <sup>-1</sup> )*										Cantidad de nutriente (kg.ha.año <sup>-1</sup> )							
	Producción	Hydrán	Nitrabor	UREA	KCl	DAP	Kieserita	Boro Klip	Kelatex Zn	Calcinit	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	B	Zn
1	1412										240	85	254	0	28	28	2,8	1,4
2		1263									240	51	240	0	38	22	1,3	1,2
3		900	460		115						240	36	240	120	27	16	2,3	1,0
4		900	460								240	36	171	120	27	16	2,3	1,0
5				336	400	87	120		16	453	240	40	240	120	30	25	0	1,4
6				488	400	87	120	11,2	16		240	40	240	0	30	25	2,3	1,4
7	Según análisis de suelos																	

\*Producción 17-6-18-2, Hydrán 19-4-19-3, Nitrabor 15% de N, 26% de CaO y 0,3% de B, Urea 46-0-0, KCl 0-0-60, DAP 18-46-0, Kieserita 25% MgO y 20% S, Klip boro 20,5% B, Kelatex Zn 9% de Zn, Calcinit 15,5% N y 26,5% CaO)

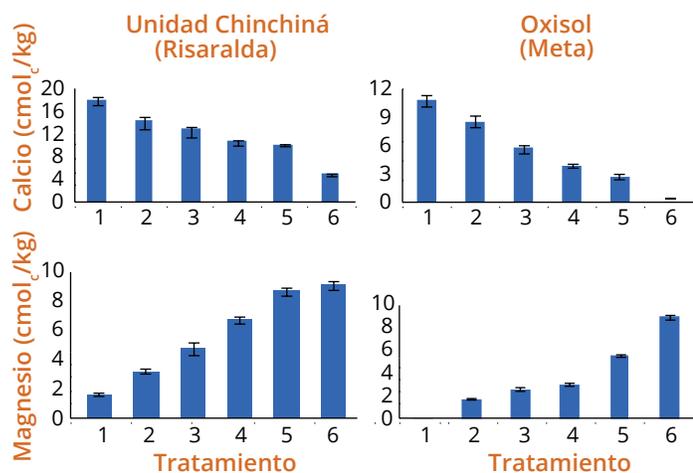


Figura 75. Efecto de los tratamientos en los contenidos de calcio y magnesio intercambiables.

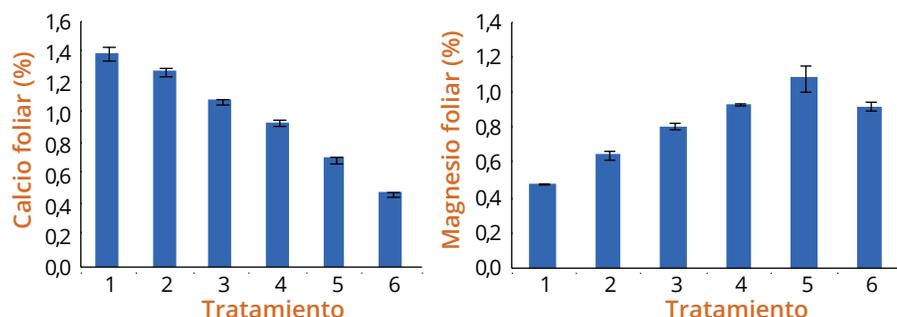
años 2013 y 2015 la producción de café cereza fue estadísticamente igual en todos los tratamientos. Para 2014, el promedio obtenido con el tratamiento correspondiente a la recomendación de fertilización según el análisis de suelos fue menor con respecto a la cosecha alcanzada con Hydrán (Tabla 29). Al igual que para Naranjal, dicho resultado no se consideró categórico, dado que la certeza (potencia de la prueba) fue de 59%, lo cual sugiere un alto grado de incertidumbre para tomar la decisión de aceptar con claridad dicha diferencia.

**Estación Experimental El Rosario.** Las producciones anuales (Tabla 30) y acumuladas de café cereza (Figura 81) fueron estadísticamente iguales en todos los tratamientos.

**Calidad del grano.** La relación café cereza (cc)/ café pergamino seco (cps) estuvo entre 4,9 y 5,3 en El Agrado; entre 5,9 y 6,4 en Naranjal; entre 4,8 a 5,1 en San Antonio y alrededor de 4,8 en El Rosario. Con relación al factor de rendimiento en trilla (FRT), estuvo por debajo de 91% en todos los sitios evaluados.

Con base en los resultados se concluye que:

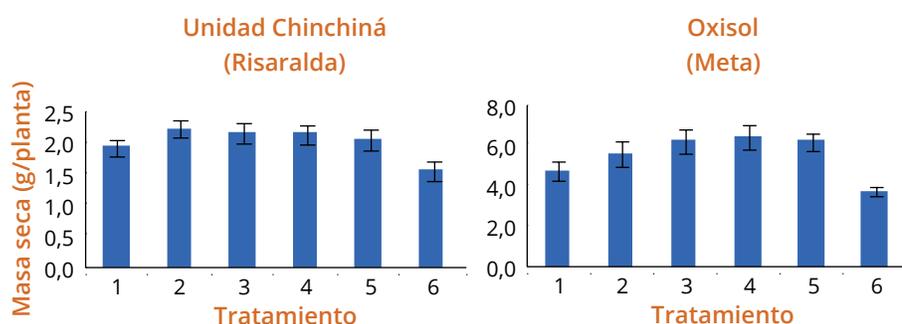
- Para las cuatro localidades, la producción de café cereza fue igual en todos los tratamientos, tanto en las cosechas anuales como en el acumulado de ellas.
- Los tratamientos evaluados no permiten concluir que las menores dosis de potasio en el tratamiento 4 (171 kg.ha.año<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) puedan ser compensadas por el suministro de calcio a través de la fuente nitrato de calcio. Para ello, se hubiese requerido un tratamiento experimental sin aplicación de K<sub>2</sub>O en presencia de CaO (120 kg.ha.año<sup>-1</sup>).
- La calidad física de la cosecha, definida en este caso como la relación cc:cps y el factor de rendimiento en trilla, no se alteraron por los tratamientos.



**Figura 76.** Efecto de los tratamientos en los contenidos foliares de calcio y magnesio en un suelo de Meta.

### Identificación del riesgo ambiental por movimientos en masa en la zona cafetera Colombiana.

Esta investigación tuvo como objetivo identificar el riesgo ambiental por movimientos en masa en la zona cafetera del departamento de Caldas. En la vigencia se finalizó la elaboración de los mapas temáticos y se generó el de susceptibilidad a movimientos en masa (Figura 82). Se encontró que el 36,34% del área presenta susceptibilidad muy alta, 14,33% alta, 23,61% media, 21,76% baja y 3,96 % nula; de éstos, los grados alto y muy alto se asociaron con las cenizas volcánicas y su contacto con rocas de baja permeabilidad, los materiales litológicos y la alta actividad tectónica.



**Figura 77.** Efecto de los tratamientos en la biomasa seca total de plantas en la etapa de almácigo, en un suelo de la Unidad Chinchiná (Risaralda) y un Oxisol (Meta).

**Tabla 27.** Producción de café cereza en respuesta a los tratamientos de fertilización en la finca El Agrado.

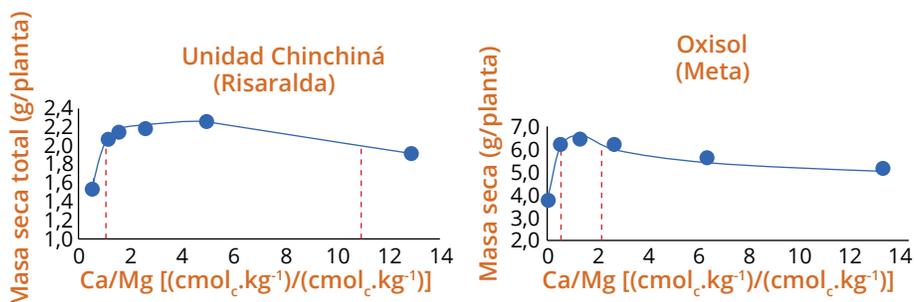
Tratamientos	Producción de café cereza (kg/parcela)							
	2010		2011		2012		2013	
	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE
17-6-18-2	26,74	6,15	58,58	2,73	47,90	1,87	34,32	1,34
Hydrán	25,11	2,42	54,44	2,66	51,21	3,97	40,44	2,25
Hydrán+Nitrabor+KCl	25,84	2,62	60,24	1,78	53,67	1,82	37,54	2,87
Hydrán+Nitrabor	36,59	2,63	56,96	1,82	52,13	2,24	41,64	2,62
Mezcla NPK+Kiesterita+Calcinit+Zn	27,38	3,45	55,08	1,78	49,46	3,67	38,43	1,44
Mezcla NPK+ Kiesterita+B+Zn	32,44	3,41	57,52	3,16	50,81	2,10	38,48	2,18
Fertilización A. Suelos	25,82	4,34	55,65	4,09	44,94	3,08	37,54	2,22

Prom.: Promedio, EE: error estándar

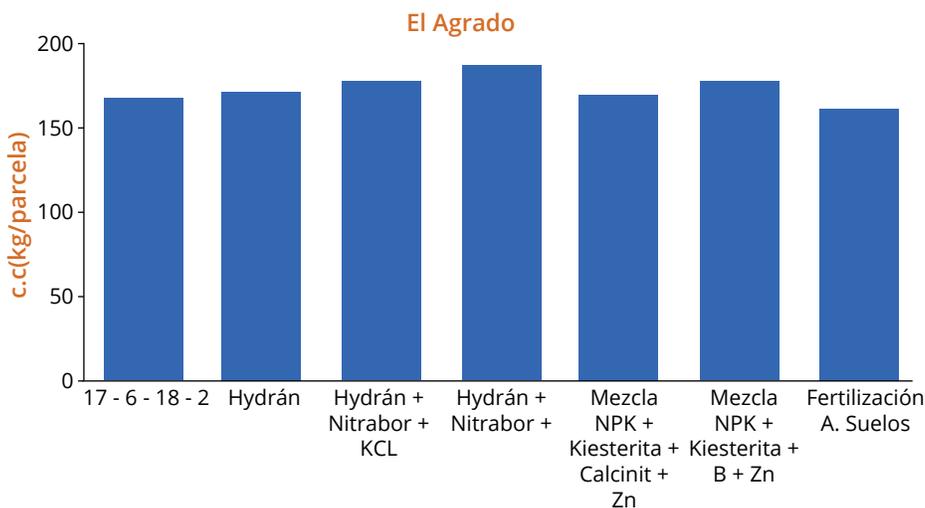
**Tabla 28.** Producción de café cereza en respuesta a los tratamientos de fertilización en la Estación Experimental Naranjal.

Tratamientos	Producción de café cereza (kg/parcela)							
	2012		2013		2014		2015	
	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE
17-6-18-2	33,96	2,17	58,77	1,55	45,41	2,49	37,11	1,63
Hydrán	30,99	2,51	53,31	1,68	41,19	1,44	32,70	1,30
Hydrán+Nitrabor+KCl	33,35	1,91	55,29	1,53	44,69	1,88	27,75	1,85
Hydrán+Nitrabor	32,99	1,86	55,03	3,72	41,81	1,62	29,89	2,22
Mezcla NPK+Kiesterita+Calcinit+Zn	35,23	2,96	59,17	0,97	47,42	2,40	35,11	2,41
Mezcla NPK+ Kiesterita+B+Zn	32,34	2,91	52,42	3,18	40,91	2,15	32,00	1,37
Fertilización A. Suelos	32,15	3,25	51,83	2,80	42,90	1,93	30,65	1,36

Prom.; Promedio, EE: error estándar



**Figura 78.** Efecto de las relaciones de Ca y Mg en la biomasa seca total de plantas en la etapa de almácigo.

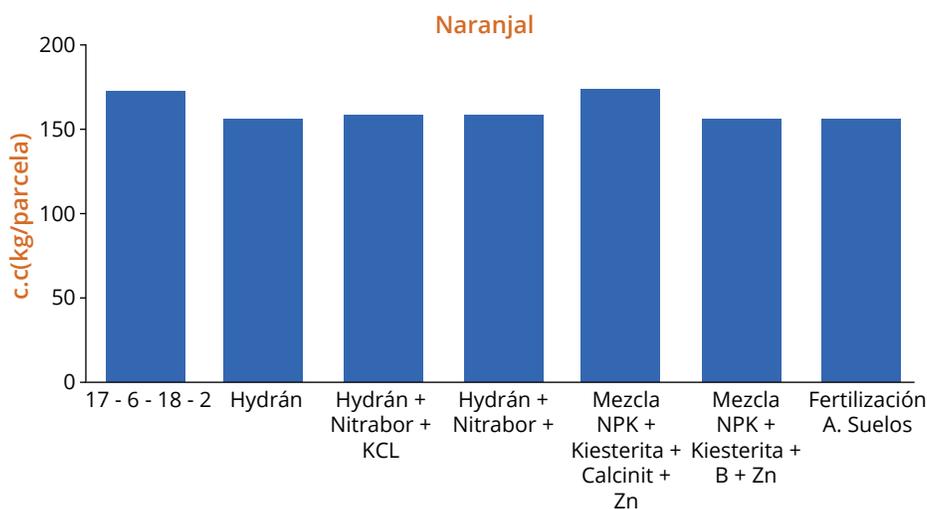


**Figura 79.** Producción de café cereza durante el ciclo de producción en la finca El Agrado.

**Tabla 29.** Producción de café cereza en respuesta a los tratamientos de fertilización en la Estación Experimental San Antonio (Santander).

Tratamientos	Producción de café cereza (kg/parcela)					
	2013		2014		2015	
	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE
17-6-18-2	4,06	0,83	55,98	5,60	35,56	3,04
Hydrán	6,93	1,56	61,18	3,60	33,06	2,15
Hydrán+Nitrabor+KCl	3,34	1,12	43,01	5,63	36,49	3,25
Hydrán+Nitrabor	4,32	1,28	50,51	5,18	39,48	6,69
Mezcla NPK+Kiesterita+Calcinit+Zn	4,48	0,76	47,81	7,76	32,60	6,91
Mezcla NPK+ Kiesterita+B+Zn	4,00	0,82	49,40	6,08	36,67	4,16
Fertilización A. Suelos	6,08	0,96	37,77	6,59	33,61	6,03

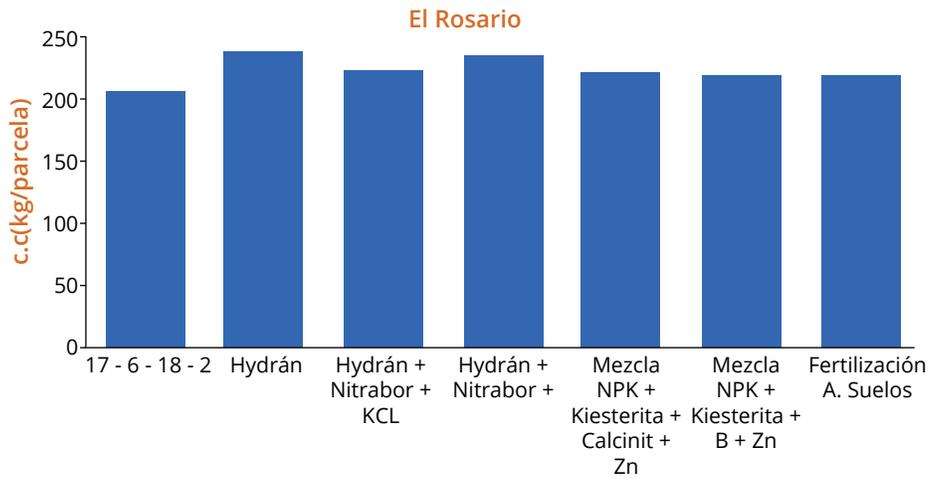
Prom.; Promedio, EE: error estándar


**Figura 80.** Producción de café cereza durante el ciclo de producción en la Estación Experimental Naranjal.

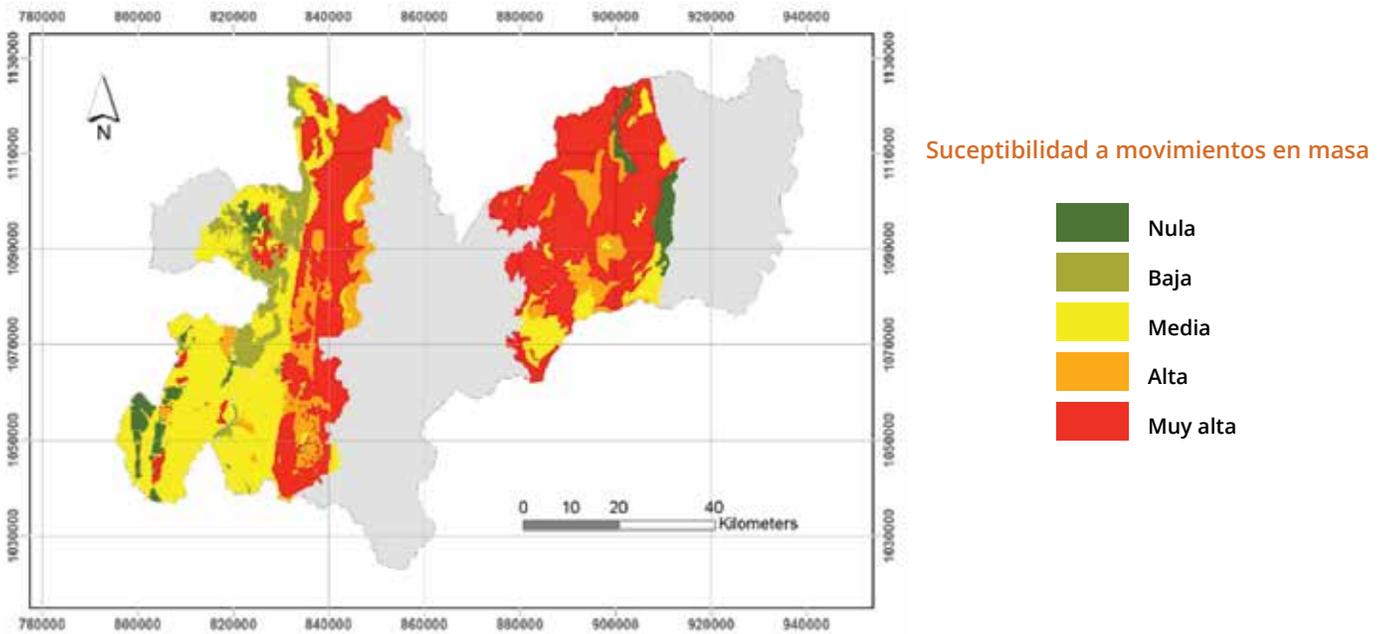
**Tabla 30.** Producción de café cereza en respuesta a los tratamientos de fertilización en la Estación Experimental El Rosario.

Tratamientos	Producción de café cereza (kg/parcela)									
	2011		2012		2013		2014		2015	
	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE	Prom.	EE
17-6-18-2	51,89	3,86	31,24	2,36	53,28	3,61	51,34	1,77	18,39	1,76
Hydrán	62,52	5,37	37,54	3,45	64,59	4,24	59,77	3,18	15,36	1,62
Hydrán+Nitrabor+KCl	56,60	3,63	37,09	3,09	56,88	4,57	55,53	4,97	18,92	2,13
Hydrán+Nitrabor	58,56	4,88	38,68	3,89	64,08	2,61	56,28	3,30	18,81	1,59
Mezcla NPK+Kiesterita+Calcinit+Zn	58,52	4,94	36,36	3,18	59,02	3,11	55,77	1,22	13,72	1,33
Mezcla NPK+ Kiesterita+B+Zn	54,18	3,62	35,69	3,67	59,37	3,50	56,58	2,06	14,83	1,79
Fertilización A. Suelos	52,46	5,42	32,50	2,44	58,93	4,48	57,62	3,95	17,90	2,08

Prom.; Promedio, EE: error estándar



**Figura 81.** Producción de café cereza durante el ciclo de producción en la Estación Experimental El Rosario.



**Figura 82.** Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para la región con potencial cafetero de Caldas.

## Calidad

La Disciplina de Calidad de Cenicafé tiene como misión investigar sobre las características físicas, sensoriales y la composición química del café en relación con factores de origen botánico y geográfico, y de los procesos del café en cada una de las etapas de la cadena de producción desde la finca hasta la preparación de la bebidas, y con base en estos estudios desarrollar y divulgar las buenas prácticas agrícolas y de manufactura, así como los controles para asegurar la calidad y la inocuidad del café en todos los procesos.

Las investigaciones que se desarrollaron durante este año tuvieron como objetivo generar conocimiento y controles en el proceso de tostación del café y también se evaluaron las características químicas y sensoriales del café producido en los departamentos de Caldas y Huila.

**Efecto de la temperatura y el sistema de fermentación en la calidad del café.** Se determinó el efecto favorable de las bajas temperaturas ambientes (13 a 17°C) en la bioquímica de la fermentación, en la calificación de la calidad del café y en la frecuencia de sabores especiales. De esta forma, en la fermentación del café debe controlarse y fijarse la temperatura, escoger el sistema (sólido o sumergido) y el tiempo, dependiendo de las operaciones en la finca y del perfil de sabor que desee ofrecer al consumidor.



Este año se procesaron seis lotes de café mediante fermentaciones controladas, sumergida y sólida, a 15 y 23°C.

**Determinación de perfiles de tostación de café para diferentes sistemas de fermentación.** En esta investigación se busca identificar los mejores perfiles de temperatura, para obtener de forma consistente sabores especiales en la bebida del café, producido mediante fermentaciones controladas. Se tostaron submuestras de lotes de café de 15 sistemas de tostación que comprendieron seis temperaturas iniciales y cinco temperaturas finales, con el fin de encontrar y ajustar las combinaciones de perfiles de tostación para la tostadora eléctrica de laboratorio. Se midieron los tiempos del proceso, el color del grano tostado y la calidad de la bebida de café, mediante la prueba de catación descriptiva-cuantitativa con la escala Cenicafé, de nueve puntos. Las

variables de respuesta fueron los promedios de la calidad del aroma, la acidez, la impresión global y la proporción de tazas con impresión global mayor de seis, que corresponde a la calidad de sabores especiales. También se cuantificó la equivalencia de la calificación de calidad con la escala SCAA.

El color del grano de café tostado para los diferentes perfiles de tostación varió de #35 a #85 Agtron. En promedio, los lotes de café obtenidos por la fermentación controlada, independiente de las temperaturas de tuestión, obtuvieron en promedio calificación en el rango de especial en los aromas, acidez e impresión global, mayor a siete, que correspondió a un puntaje promedio de 82 en escala SCAA. Aunque todavía no se han evaluado todos los tratamientos planteados en esta investigación, se ha encontrado una tendencia en la influencia de la temperaturas así, para el tipo de tostadora usada,

temperaturas muy altas de pre-calentamiento como 210°C y temperaturas finales muy altas de 200°C o muy bajas de 175°C, influyen en desviaciones de la calidad del café, por defectos quemado y crudo.

**Relaciones entre los procesos termo-químicos de la tostación y la calidad de cafés especiales.** En esta investigación se busca identificar los perfiles de temperaturas de tostación de café y su relación con la calidad del café y los compuestos químicos del grano de café tostado y las relaciones entre compuestos químicos del grano de café verde y del grano tostado. Es así como en más de 100 submuestras tostadas, con temperaturas fijas de precalentamiento y temperatura final, y 12 muestras de café verde, todas producidas por fermentaciones controladas, se analizaron en su composición química de lípidos, alcaloides, proteínas, ácidos orgánicos, azúcares y volátiles, utilizando métodos estandarizados en Cenicafé, basados en los protocolos internacionales y usando técnicas de cromatografía líquida, gases, masas y espectrofotometría.

Los principales cambios observados entre la composición bromatológica del café verde y tostado fueron: disminución de la sacarosa, ácidos cítrico y málico, y aumento de ácidos quínicico, fórmico y acético, así como proteínas totales, cafeína y lípidos totales. En el café verde se detectaron 13 compuestos volátiles y en el tostado 53. Los principales compuestos volátiles del café verde fueron el etanol

y el ácido acético, seguidos del acetaldehído, la 2-propanona, el ácido 3-metilbutanoico, el 3-metil-butanal y el 3-metil-butanol. El etanol, butanol y butanal se transformaron o desaparecieron completamente en la tostación y los otros compuestos mencionados disminuyeron. En el café verde se detectaron siete compuestos pero no en el café tostado, y se detectaron 47 compuestos volátiles del tostado pero no se encontraron en grano verde. La 1- hidroxí 2-propanona, y el 2-furancarboxaldehído fueron los compuestos más abundantes en la fracción volátil del café tostado.

**Evaluación de café tostado comercial de Colombia.** Se analizó la calidad en taza y las características fisicoquímicas de algunos de los cafés tostados en Colombia de las categorías Gourmet y Premium, vendidos en distintos supermercados de Manizales. Se encontró que la calidad ofrecida en los empaques de estos productos no corresponde a la calidad medida en la preparación en taza. El producto de mayor calidad, tipo gourmet selection, obtuvo una calificación de siete en la impresión global (79,4 SCAA) y color de 65 Agtron. Le siguió en calidad el puntaje SCAA de 68,3, de un café suave tipo gourmet. El 58% de los productos evaluados de café comercial tipo gourmet y premium de Colombia presentó calidad de rechazo, con calificación inferior a tres (inferior a 54, SCAA). Los productos de menor calidad presentaron características a rancio, grasa, viejo, tierra y humo, que se asocian a fallas en los procesos de tostión

y empaque, y a fallas en el control de la calidad del café trillado y materia prima.

**Evaluación de café tostado comercial de varios países.** Se analizó la calidad de cafés de los principales países productores de café que fueron tostados y comercializados en una empresa de Estados Unidos. Los cafés de Centroamérica, Jamaica, Hawái y Etiopía se destacaron por su mejor calidad. Los cafés de Asia y las mezclas de café tostado presentaron la menor calidad. En el 55% de los productos extranjeros evaluados se registró calidad de rechazo, calificación inferior a 3 (menor a 57 puntos en la escala SCAA), con características a quemado, rancio, incluso un producto presentó sabor fenólico.

**Verificación de la denominación de Origen del Café producido en el Huila.** Se desarrolló la caracterización de sostenibilidad de 117 fincas seleccionadas en el departamento del Huila. En la caracterización química se estableció que existe una segmentación entre el Norte y Sur del departamento asociada a la distribución de la cosecha. El 84% de las muestras analizadas por taza presentaron puntajes entre 80 a 84,9 en la escala SCAA. Se destaca que el 9,4% de las muestras presentaron puntajes superiores a 85 puntos, procedentes de los municipios del Agrado, Gigante, San Agustín, Acevedo, Oporapa, La Plata, Iquira y Neiva, las cuales representan diferentes regiones del departamento. Las notas características del café analizado correspondieron a chocolate (32,0%), dulce (14,0%), frutal (6,0%), herbal (6,0%),

miel (6,0%), floral (4,4) y cítrica (2,6%), las cuales son consistentes con los atributos descritos en el perfil de la Denominación de Origen Huila.

#### **Caracterización del café producido en la región del Paisaje Cultural Cafetero-Caldas.**

Los análisis de calidad en taza indican que todos los municipios obtuvieron al menos una muestra con calificación mayor a 83,5 puntos en la escala SCAA. En los municipios de Riosucio, Supía y La Merced se registraron los mayores valores de puntaje total, sin defectos en taza. Se compararon las muestras procedentes del productor y un estándar, de acuerdo con el protocolo de beneficio de café cereza realizado por Cenicafé, el cual permitió una reducción del porcentaje de defectos; se realizó la prueba de independencia (Chi cuadrado), y se encontró una dependencia entre el defecto y el tipo de muestra analizada. Esto determinó que el origen

del Paisaje Cultural Cafetero de Caldas tiene el potencial de producir café de alta calidad, sin embargo, se evidenció una pérdida en producción de cafés de calidad, relacionada con inadecuadas prácticas de beneficio, en detrimento del producto final en algunos municipios, en particular en las regiones centro sur y bajo occidente (municipios de Manizales, Chinchiná, Palestina, Neira, Belalcázar, Anserma).

**Evaluación de la espectroscopia de infrarrojo cercano para diferenciar mezclas de café de diferentes orígenes.** Se utilizó la tecnología de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS) para la detección de mezclas de café *Coffea arabica* ("100% Café de Colombia") con café *Coffea canephora* (Robusta) y la determinación del contenido del diterpeno 16-O-methylcafestol (16 OMC), las cuales serán validadas con muestras externas.





Disciplinas  
de apoyo a la  
investigación



# Disciplinas de apoyo a la investigación

## Agroclimatología

### Red Meteorológica Cafetera

Durante el período 2015 y 2016 las actividades de investigación de la Disciplina de Agroclimatología tuvieron como objetivo restablecer, fortalecer y disponer una red meteorológica y un servicio agroclimático con calidad en la información.

**Estaciones meteorológicas convencionales (EMC)(Serie histórica).** Para el año del 2016 la Red Meteorológica Cafetera operó con un total de 216 estaciones, de las cuales 49 son meteorológicas principales (miden la temperatura, humedad relativa, lluvia y brillo solar), siete heliopluiográficas (miden la lluvia y brillo solar), ocho pluviográficas (miden la cantidad e intensidad de la precipitación), 151 pluviométricas (miden la cantidad de lluvia caída) y una heliográfica (Figura 83).

Se realizó el mantenimiento y calibración a las EMC a través de 107 visitas de inspección, de mantenimiento preventivo y correctivo, en las cuales lograron corregirse las diferentes fallas de los instrumentos de medición y registro (heliógrafo,



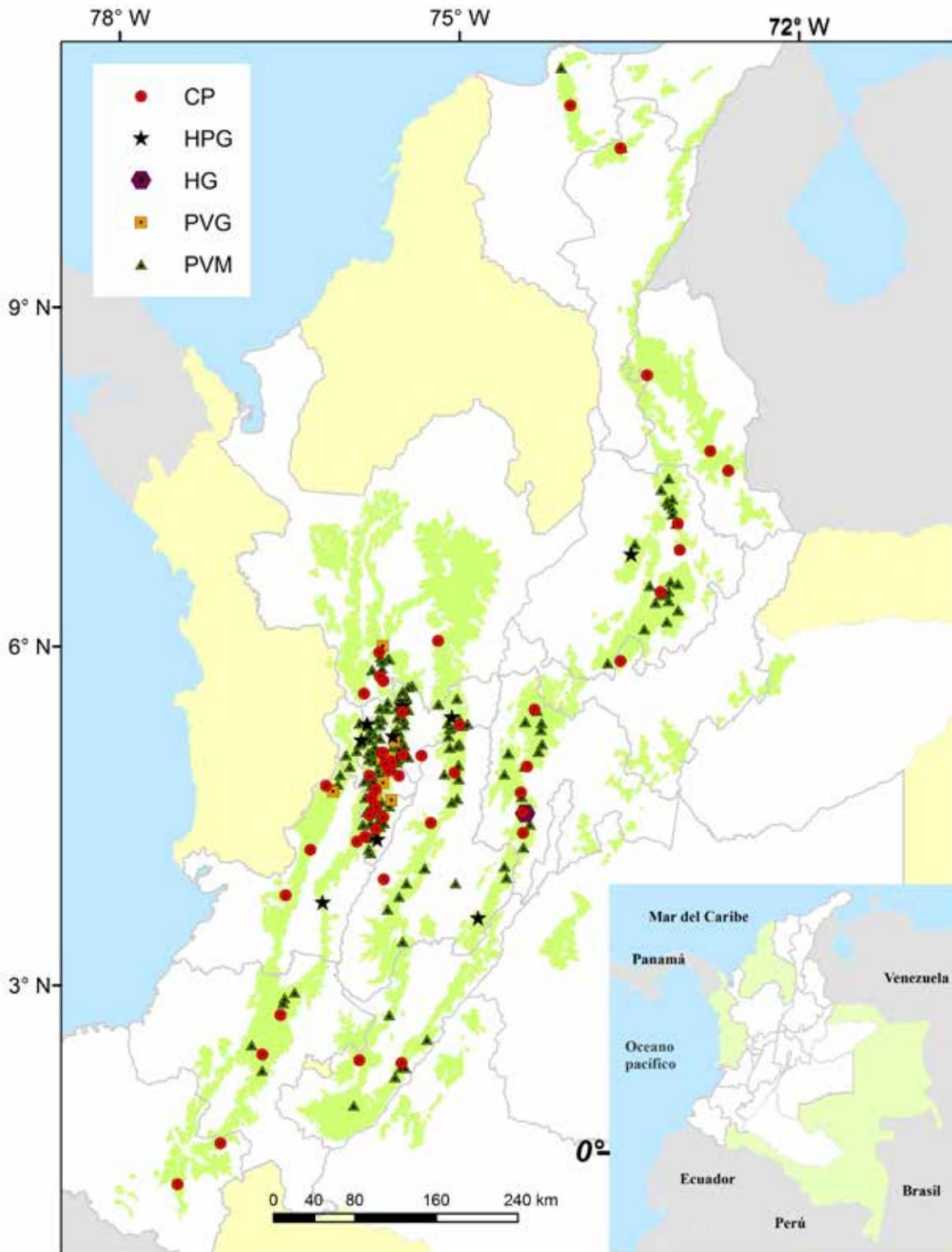
pluviógrafo, pluviómetro, psicrómetro y termohigrógrafo) de las variables meteorológicas.

**Procesamiento de la información.** Con el fin de modernizar y mantener la seguridad de la base de datos histórica, fue realizada la migración de la serie climática del sistema de ordenamiento Paradox al sistema Oracle. De esta forma puede vincularse la información registrada con la Plataforma Agroclimática Cafetera.

**Estaciones meteorológicas automáticas (EMAs).** Finalizando el año 2015 y durante el 2016, con recursos del proyecto de regalías del

departamento del Huila y del proyecto Gestión Inteligente del Agua-GIA, fueron instaladas 32 EMAs y ocho MicroEMAs (Figura 84), consolidando una red, operando y registrando variables meteorológicas en 144 puntos distribuidos por diferentes lugares de la región cafetera colombiana.

En el convenio de Cenicafé con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, fue desarrollada una tecnología de comunicación para intercambio entre entidades de la información registrada por las EMAs; de esta manera, la Red Meteorológica Cafetera tiene acceso semanal a la información



**Figura 83.** Estaciones Meteorológicas Convencionales(EMC). CP: Convenionales principales; HPG: Heliopluiográficas; HG: Heliográficas; PVG: Pluiográficas; PVM: Pluiométricas.



**Figura 84.** Microestaciones meteorológicas. Estación en el departamento del Huila

de las 31 EMAs que se localizan en área cafetera y que son administradas por el IDEAM (Figura 85).

**Mantenimiento de las estaciones meteorológicas automáticas.** Para el buen funcionamiento de la EMAs, es necesario realizar visitas continuas a los lugares de instalación y las siguientes actividades: Inspección del lugar en donde se realiza la labor de podar el césped, además de limpiar la estructura y los sensores. También se requiere verificar el funcionamiento y calibración de los sensores por parte del equipo especialista de Cenicafé. Adicionalmente, se requiere realizar el mantenimiento del

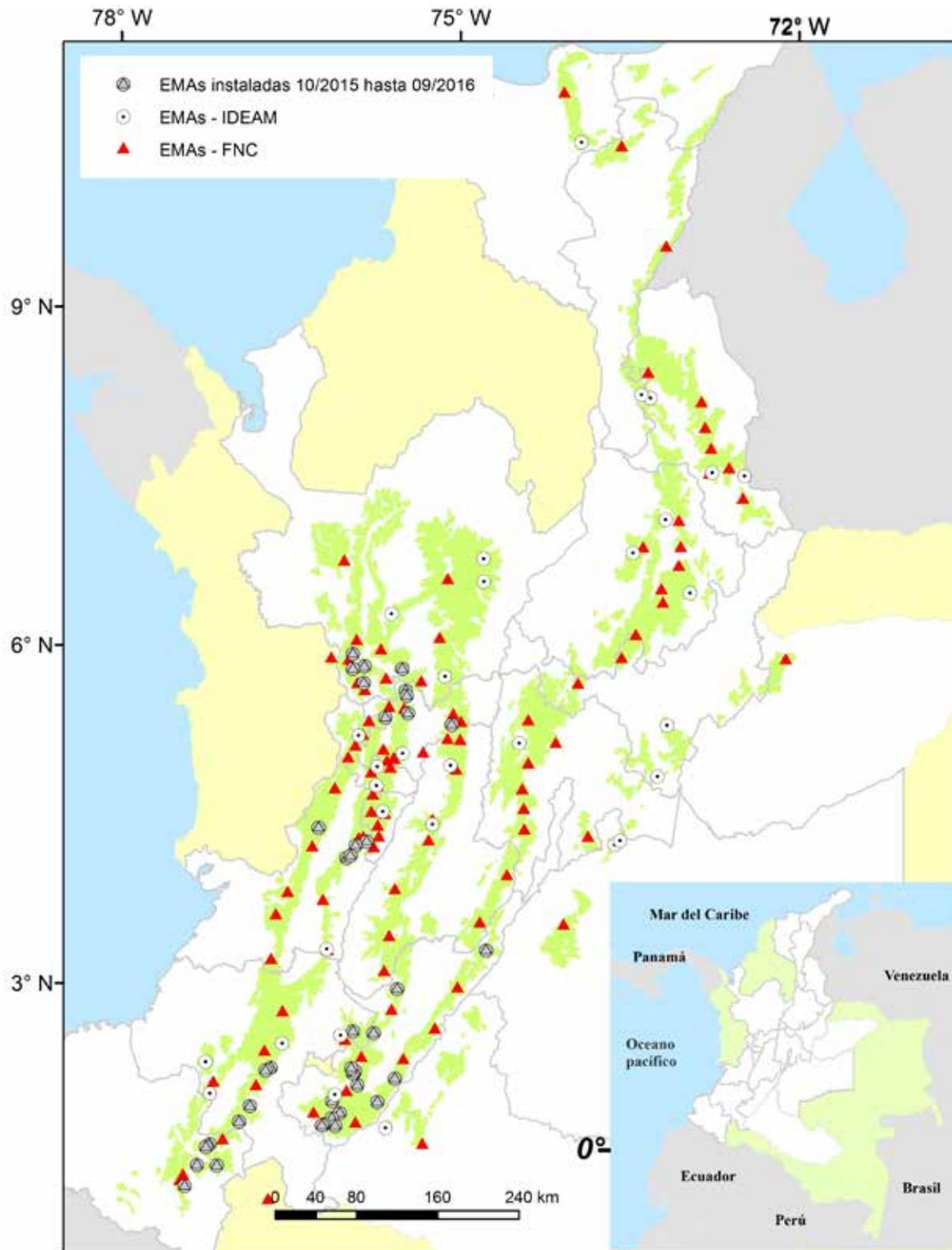
hardware, panel solar o cambio de baterías y actualización del software, y finalmente, verificación de comunicación GPRS. Durante el año 2016, las actividades anteriormente descritas fueron realizadas en 44 de las 105 EMAs.

**Automatización del procedimiento de calibración de la radiación solar – Estudio de caso de Radiación Global.** La red meteorológica automática de la Federación Nacional de Cafeteros tiene 105 estaciones que miden radiación, 49 de ellas tienen sensores de radiación global, 50 de radiación neta y 99 estaciones miden radiación fotosintéticamente activa. Para los sensores de radiación global que tienen las estaciones, el fabricante recomienda realizar las calibraciones cada 2 años, razón por la cual se inició con la calibración de los sensores de radiación global, usando piranómetros verificados y calibrados por medio de un patrón nacional. El procedimiento consistió en la comparación de los registros provenientes de los subpatrones (PSP Eppley) y los sensores (SP 110 Apogee) de las EMAs (Tabla 31).

Una vez realizado el procedimiento de calibración en el campo, se realizó un ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados a los registros de los sensores de las EMAs y del sub patrón, y se determinó el respectivo coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Se encontró que con un mínimo de 130 registros, que equivalen a 2 h, no fueron suficientes para tener un  $R^2$  ( $>0,90$ ) aceptable para la calibración,

**Tabla 31.** Instrumentos utilizados en la calibración de los sensores de radiación global.

Instrumento	Marca y Referencia	Descripción	Unidad de medida	Rango espectral
SubPatrón/Sensor	PSP Eppley	Piranómetro de células de silicio que mide la radiación de onda corta total	$J/m^2 s$ o $W/ m^2s$	380 nm a 1.120 nm
Sensores EMAs	Apogee SP 110	Ideal para la medición de la radiación global debido a que su tiempo de respuesta es rápido (5 segundos aproximadamente).	$J/m^2 s$ o $W/ m^2s$	285 nm a 2.800 nm
Almacenamiento/ Multímetro	Fluke 286	Instrumento de precisión que sirve para medir el voltaje en los terminales del sensor de radiación global Eppley.	NA	NA
Almacenamiento/ Datalogger	Campbell Scientific CR1000	Almacena los datos que registra el sensor SP110 cada minuto.	NA	NA



**Figura 85.** Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs).

mientras que con 245 registros (equivalente a 4 h) los resultados muestran una mayor correlación. En la Tabla 32 se presentan los resultados de calibración, que corresponden al factor de conversión que debe ingresarse en el datalogger para que el sensor de radiación global genere registros confiables.

**Control de calidad de datos de la variable precipitación registrados por las estaciones automáticas con base en los registros de las estaciones convencionales.** Dentro de las investigaciones de la Disciplina de Agroclimatología está la representación espacial del balance hídrico como herramienta para la toma de decisiones

**Tabla 32.** Resultados de la calibración para nueve estaciones que miden radiación global.

Estación	Municipio	Descripción	R <sup>2</sup>			Ecuación y factor de conversión
			130 Registros (2 h)	245 Registros (4 h)	245 Registro (4 h)	
Salamina	Salamina	Caldas	0,79			
Pensilvania	Pensilvania	Caldas	0,75			
Letras	Manizales	Caldas	0,76			
Génova	Génova	Caldas	0,81			
Santa Helena	Marquetalia	Caldas	0,53			
Belalcázar	Belalcázar	Caldas		0,74	0,82	Y = 4,4991x
Granja Luker	Santágueda	Caldas		0,88		Y = 4,8765x
La Elvira	Belén de Umbría	Risaralda		0,97		Y = 4,2619x
La Celia	La Celia	Risaralda		0,98		Y = 5,2308x

en torno al manejo del cultivo. La precipitación a nivel diario es una variable clave para la determinación de éste. Sin embargo, esta variable presenta una alta variabilidad espacio-temporal y es compleja su verificación y análisis debido a que el cero es un valor válido, por lo cual, es de gran importancia garantizar previamente la calidad de la información de precipitación registrada por las estaciones meteorológicas. Con el fin de validar las series de precipitación registradas por las EMAs, los datos fueron verificados con los de las EMC. Para lo anterior se recolectó la información de 19 EMC y EMAs ubicadas en la zona cafetera colombiana que funcionan simultáneamente, para el año 2015 y parte del 2016 (Tabla 33).

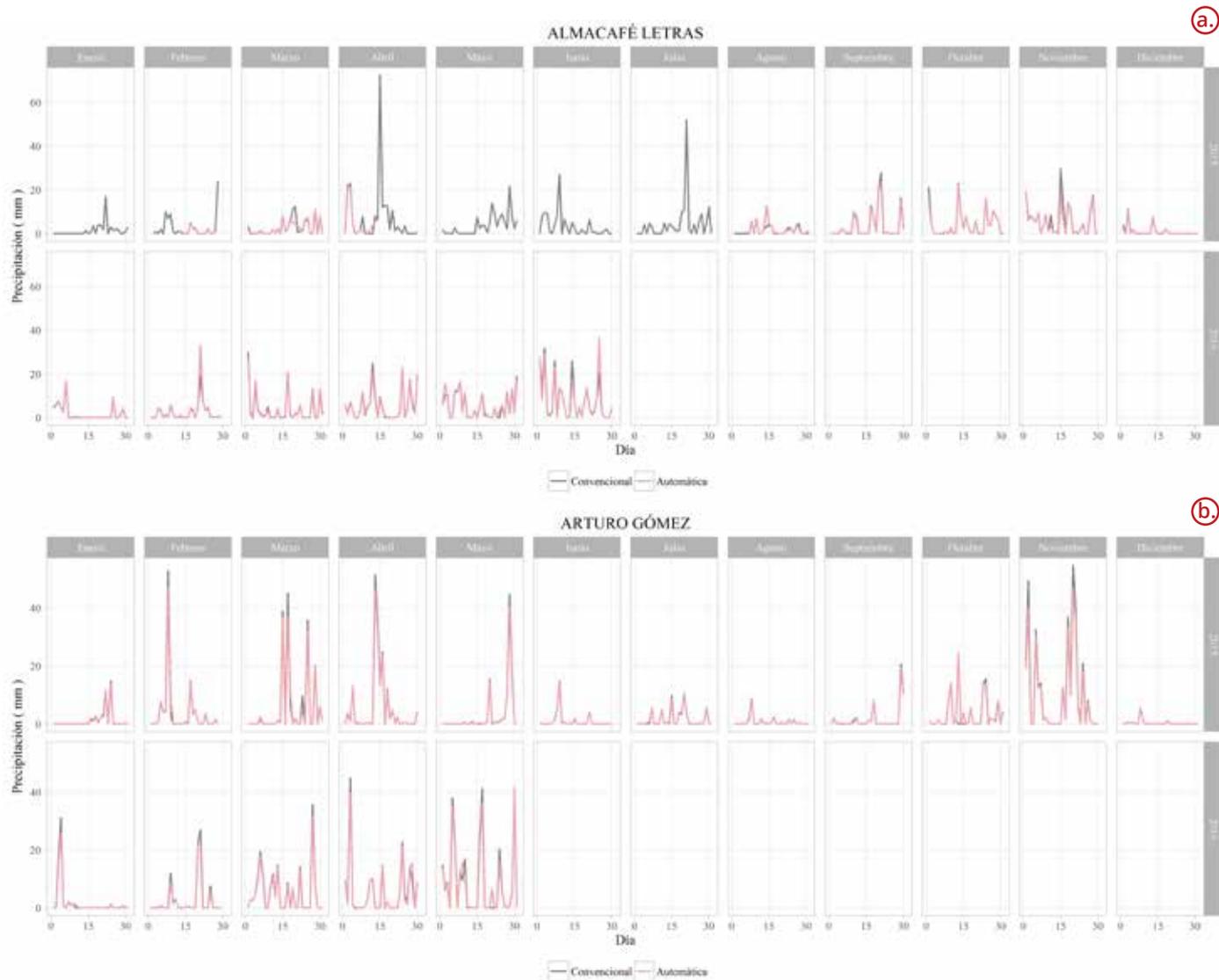
**Tabla 33.** Estaciones utilizadas en el análisis.

Estación	Municipio	Departamento	Elevación (m)
Almacafé Letras	Manizales	Caldas	3.684
Arturo Gómez	Alcalá	Valle	1.259
Cenicafé	Manizales	Caldas	1.310
Cocorná	Cocorná	Antioquia	1.344
El Ciprés	Salamina	Caldas	1.877
El Rosario	Venecia	Antioquia	1.635
El Sauce	La Unión	Nariño	1.609
Granja Luker	Palestina	Caldas	1.031
La Cristalina	Támesis	Antioquia	780
Julio Fernández	Restrepo	Valle	1.381
La Sirena	Sevilla	Valle	1.519
La Trinidad	Piendamó	Cauca	1.671
Manuel M. Mallarino	Trujillo	Valle	1.331
Manuel Mejía	El Tambo	Cauca	1.735
Naranjal	Chinchiná	Caldas	1.381
Ospina Pérez	Consaca	Nariño	1.603
Planalto	Manizales	Caldas	1.413
Santa Helena	Marquetalia	Caldas	1.395
Santiago Gutiérrez	Argelia	Valle	1.530

Se realizó la visualización y cuantificación del número de datos faltantes para las series de la EMA y EMC respectivamente, durante el período evaluado y se concluyó que no hay continuidad en la serie a través del tiempo, como se presenta en la EMA fragmentada Almacafé Letras (Figura 86a) comparada con la EMA continua Arturo Gómez (Figura 86b). Para la comparación de los fragmentos de serie generados por las estaciones automáticas y convencionales, se estableció la relación lineal entre cada estación. Los resultados de la regresión lineal se presentan en la Tabla 34. Según la prueba *t* al 5%, el coeficiente de regresión es igual a uno estadísticamente, para todas las estaciones evaluadas. Para las estaciones Almacafé Letras, Naranjal, Planalto y Julio Fernández el coeficiente de determinación es superior a 90% pero inferior al 95%, mientras que para las estaciones La Trinidad, El Ciprés y Santiago Gutiérrez, el coeficiente de determinación es inferior

al 90%. La estación Cocorná presentó un coeficiente de determinación de 0,09%. Para las demás estaciones, las cuales presentan coeficientes de determinación mayores al 95%, se concluye que la estación automática registra igual valor que la convencional.

En la Tabla 35 se presentan los índices estadísticos calculados para las 18 estaciones. El índice de concordancia *d*, presenta valores mayores de



**Figura 86.** Análisis de la continuidad de la serie de precipitación a través del tiempo. **a.** Serie fragmentada; **b.** Serie continua.

**Tabla 35.** Resultados para la comparación de la precipitación entre las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas.

Estación	Intercepto		Coeficiente de regresión		R2
	Estimado	Desv. Est.	Estimado	Desv. Est.	
Almacafé Letras	0,2364*	0,1125	0,9491*	0,0151	0,92
Arturo Gómez	0,2147*	0,0643	0,8934*	0,0068	0,97
Cenicafé	0,0600	0,0690	0,9978*	0,0058	0,99
Cocorná	0,5854	0,4551	0,1307*	0,02417	0,09
El Ciprés	0,2944*	0,1543	1,0725*	0,02378	0,79
El Rosario	0,2396*	0,0916	0,9449*	0,00841	0,96
El Sauce	0,1752*	0,0601	0,8701*	0,00629	0,98
Granja Luker	0,1503*	0,0245	0,9387*	0,00231	1,00
Julio Fernández	0,1275*	0,0685	0,8870*	0,01236	0,91
La Cristalina	0,2409*	0,1021	0,9434*	0,01007	0,95
La Sirena	0,2661*	0,0930	0,8867*	0,00702	0,97
La Trinidad	-0,0136	0,1592	0,8260*	0,0150	0,85
Manuel M. Mallarino	0,1258	0,0694	0,9044*	0,00731	0,97
Naranjal	0,3924*	0,1224	0,8166*	0,0089	0,93
Ospina Pérez	0,1778*	0,0431	0,8897*	0,00614	0,98
Planalto	0,1939	0,1094	0,8556*	0,00972	0,93
Santa Helena	0,2806	0,1517	0,8707*	0,00772	0,98
Santiago Gutiérrez	0,1387	0,1231	0,7194*	0,01639	0,79

**Tabla 34.** Índices estadísticos calculados para las series de precipitación.

Estación	d	EM	EAM	RMSE	EF	CMR
Almacafé Letras	0,98	16,40	0,03	1,75	0,92	0,01
Arturo Gómez	0,99	24,60	-0,17	1,65	0,96	-0,05
Cenicafé	1,00	10,00	0,05	1,18	0,99	0,01
Cocorná	0,38	97,90	-8,80	17,34	-5,34	-4,41
El Ciprés	0,93	36,50	0,49	3,35	0,78	0,16
El Rosario	0,99	22,60	0,01	1,94	0,96	0,00
El Sauce	0,99	16,90	-0,27	1,68	0,95	-0,09
Granja Luker	1,00	5,60	-0,11	0,77	0,99	-0,03
Julio Fernández	0,98	21,30	-0,10	1,55	0,90	-0,05
La Cristalina	0,99	30,00	0,05	2,11	0,95	0,02
La Sirena	0,99	22,60	-0,25	2,41	0,95	-0,06
La Trinidad	0,96	32,30	-0,78	3,78	0,81	-0,22
Manuel M. Mallarino	0,99	33,40	-0,21	1,71	0,96	-0,06
Naranjal	0,98	35,50	-0,78	3,49	0,88	-0,14
Ospina Pérez	0,99	14,00	-0,07	1,09	0,97	-0,03
Planalto	0,98	27,70	-0,44	2,83	0,90	-0,11
Santa Helena	0,99	30,10	-0,82	3,40	0,95	-0,11
Santiago Gutiérrez	0,93	22,50	-0,62	3,32	0,66	-0,30

d: Índice de concordancia; EM: Error máximo; EAM: Error absoluto medio; RMSE: Raíz cuadrada del error cuadrático medio; EF: Eficiencia; CMR: Coeficiente de masa residual.

0,75 en todas las estaciones, excepto en la estación Cocorná, por lo que puede afirmarse que la información de precipitación registrada por la estación automática presenta concordancia con la información registrada por la estación convencional. El error máximo (EM) para la estación Cocorná es de 97,9 mm, para las demás estaciones el error oscila entre 5 y 35mm. Las estaciones Granja Luker y Cenicafé, presentan el menor EM con 5,6 y 10,0 mm, respectivamente. Cuando se presentan valores negativos del error absoluto medio (EAM) en las EMAs, de manera general, para el período evaluado, la estación convencional registró valores superiores de precipitación respecto a la estación automática. En las estaciones Almacafé Letras, Cenicafé, El Ciprés, El Rosario y La Cristalina, las EMAs registraron valores superiores de precipitación respecto a las EMC. Lo anterior se confirma mediante el coeficiente de masa residual (CMR). La raíz cuadrada

del error cuadrático medio (RMSE) muestra similitud entre la información de precipitación registrada por la EMA y la EMC, para la mayoría de estaciones, exceptuando la estación Corcorná (17,34 mm). Finalmente, con base en la eficiencia (EF), para la mayoría de estaciones el valor es cercano a uno, exceptuando las estaciones Santiago Gutiérrez, El Ciprés, Naranjal y Cocorná.

**Boletín Agroclimático Cafetero.** Es una publicación mensual, que se encuentra disponible en la Plataforma Agroclimática Cafetera (<http://agroclima.cenicafe.org/boletines>), desde septiembre del 2015.

La Mesa Técnica Agroclimática, se reúnen mensualmente para preparar y elaborar un documento técnico, describiendo las principales recomendaciones para los Cafeteros de Colombia, de acuerdo a los reportes de clima y el pronóstico del tiempo que realiza el IDEAM.

El IDEAM presenta el contexto histórico de lluvias, condiciones de disponibilidad hídrica y la predicción de las lluvias para el actual y los siguientes dos meses. Estos reportes son basados en registros históricos, modelos estadísticos y climatológicos dinámicos, que usa ese instituto para consolidar su información y generar los pronósticos. Con los reportes del IDEAM, ajustados al área cafetera colombiana y complementada con los registros de la red meteorológica y análisis agroclimáticos de las Estaciones Experimentales, se elaboran las recomendaciones para el cultivo del café.

**Plataforma agroclima.cenicafe.org.** Se revisó, actualizó y migró la información climática de la Red Meteorológica Cafetera, a una plataforma más moderna y más ágil, para la consulta y uso de la Institucionalidad Cafetera y los caficultores de Colombia.

## Biometría

Para entender la complejidad de las relaciones suelo, agua, planta y atmósfera, en cultivos perennes como el café, se recurre a modelos mecanísticos, con los cuales se identifica el efecto en la producción de variables exógenas, como la temperatura. Es por ello que, con el propósito de determinar el porcentaje de disminución de la producción de café cereza, por efecto de la temperatura, se obtuvo la producción de café con diferentes escenarios en condición de El Niño, La Niña y períodos Normales, para diferentes localidades. La variable para identificar el efecto de la temperatura fueron las unidades térmicas acumuladas, llegándose a establecer a través de una regresión lineal simple, que por cada 100 unidades térmicas que se tengan por defecto o exceso, de las requeridas, la producción se disminuye en un 2,6%. La variable unidades térmicas acumuladas por año cronológico, tiene una distribución normal, según prueba de Shapiro Wilk al 5%, por lo tanto, puede determinarse la probabilidad de ocurrencia de ella, con la estimación del promedio y la desviación estándar. Con esta distribución de probabilidad, en seis estaciones, se identificó que al menos en un ciclo productivo ocurre un año La Niña, que afecta la producción, es decir, hay una probabilidad del 15% de la ocurrencia de este evento. Además, en dos ciclos productivos, al menos ocurre un evento El Niño, el cual afecta la producción. Hay sitios en los cuales no hay efecto de años El Niño en la disminución de la producción.

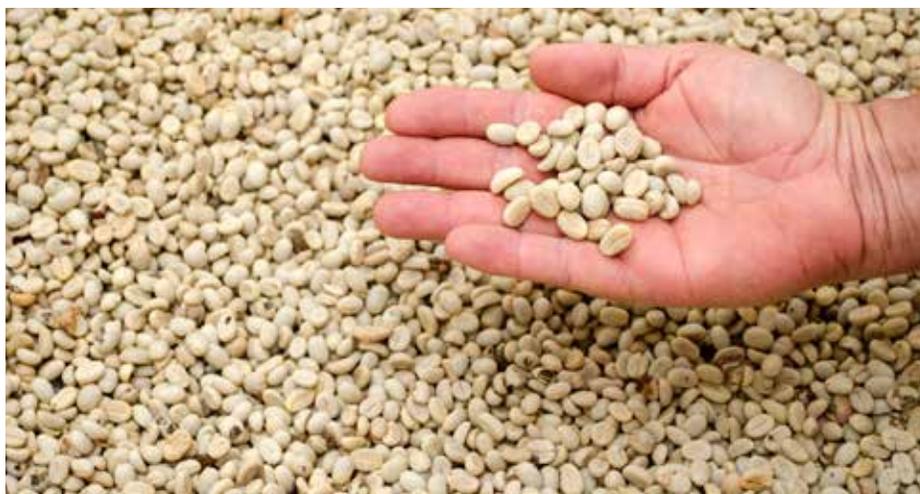


Por otro lado, se hizo una revisión de los resultados de 5 años de evaluaciones en el campo de los niveles de infestación por broca e infección por roya en lotes de la caficultura colombiana y de cómo las estrategias específicas en el manejo de la broca y roya generaron información para una mejor comprensión de ellas, con lo cual se complementan esfuerzos para mantener la producción de café como una actividad económica viable y sostenible en las zonas rurales de Colombia. De este análisis se destaca el incremento de las variedades resistentes a la roya del cafeto, pasando de una caficultura con un porcentaje de variedades resistentes cercanas al 40% para los primeros meses del año 2011, a un 90% para el mes de mayo de 2015, al mismo tiempo que los niveles de infección descendieron, manteniéndose por debajo del 4,9% para los últimos dos años. Para la evaluación de mayo de 2015, se destaca que 17 departamentos tienen más del 75% de lotes sembrados en variedades resistentes y la infección promedio por lote está entre 0% y 2,4%. De

los lotes sembrados en variedades susceptibles, el promedio de infección por roya fluctúa entre 1,3% y 30,9%, de tal manera que, en cada departamento el promedio de infección por roya es mayor en las variedades susceptibles con respecto a las variedades resistentes, según prueba de *t* al 5%.

Con respecto a los resultados obtenidos del promedio de infestación por broca en el lote, de las evaluaciones realizadas en mayo de 2011 y mayo de 2016, se observa que para la primera evaluación, 14 de 19 departamentos evaluados presentaron niveles superiores del 6% de infestación por broca, mientras que 5 años después ninguno de los departamentos presentó porcentajes de infestación superiores al 3,4%, y en ocho de ellos los niveles de infestación fueron iguales o menores al 2%, encontrándose la caficultura para esta fecha de evaluación en el umbral de acción, lo cual indica que debe hacerse el manejo integrado de la broca, para proteger los frutos de la cosecha formada.

## Economía



En análisis económicos se destacan los resultados del dispositivo tipo canastilla para la recolección de frutos de café del suelo. Esta estrategia para el manejo integrado de la broca indica que el nivel de hojarasca en el suelo no es determinante en el tiempo empleado para efectuar la labor, pero sí en la eficacia de la misma, además se encontró una relación directa entre el número de frutos en el suelo y el tiempo empleado en la recolección de los mismos. Estos resultados ratifican la importancia de una buena recolección evitando al máximo las pérdidas y caídas de café al suelo, ya que en el 82,2% de los lotes donde se recogieron los frutos del suelo, posterior al último pase de cosecha, lograron mantenerse para la cosecha siguiente las poblaciones de broca por debajo del nivel de daño económico.

Así mismo, se evaluaron los resultados de la bionutrición como alternativa para una producción sostenible de café, encontrándose desde el punto de vista económico lo siguiente:

- Reducir el fertilizante mineral y complementar la fertilización con el insumo biotecnológico Bacthon® es una alternativa viable para los cafeteros, debido a que los resultados indican que los costos de la fertilización no se incrementan.
- Esta alternativa además abre la posibilidad para que el caficultor tenga un café diferenciado ambientalmente, al aplicar menor cantidad de fertilizante mineral.
- El análisis bajo la técnica de presupuesto parcial,

corroboró el impacto que se genera en el ingreso neto positivo para los tratamientos cuya reducción del fertilizante mineral entre el 33% y 56% más la aplicación de bioinsumo, durante dos ciclos de producción, siembra nueva y zoca.

- Los resultados indican que no es viable agrónomica y económicamente fertilizar con un insumo biotecnológico sin la incorporación de la nutrición mineral, pero también se confirma que las plantas de café sin algún tipo de nutrición, no tienen posibilidad técnica ni económica

Durante este período se dio continuidad a la investigación exploratoria para medir el impacto socioeconómico y ambiental del Programa GIA, avanzando en la recomendación y aprobación de la metodología SROI y estudio del 100% de su guía metodológica.

## Tecnología de Información y Comunicaciones

Dentro de la Disciplina de Tecnología de Información y Comunicaciones se trabaja en los sistemas de información, soporte y sistemas de información geográfica; este último enfocado en el apoyo instalación, investigación y desarrollo de aplicaciones en el entorno SIG para la institución. Durante el presente año el grupo implementó una estrategia de capacitación e instalación del software ArcGIS con un uso enfocado hacia la caficultura.

Desde el Centro de Documentación "Alberto Machado Sierra", en la página web de Cenicafé se fortaleció la opción de Documentos en texto completo correspondiente al enlace de biblioteca: [http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/enlaces\\_de\\_interes](http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/enlaces_de_interes) con la adición de la base de datos ACSESS DL, para consulta en línea de documentos en las áreas de cultivos, suelos y ciencias medioambientales. Las bases de datos incluidas en dicho enlace no tienen costo para Cenicafé debido a la participación en redes de bibliotecas como RIDAC, la cual es liderada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, y ScienceDirect



y Scopus, las cuales son subsidiadas por Colciencias.

A partir de este año, el Centro de Documentación de Cenicafé fue incluido en la lista de códigos MARC para organizaciones (biblioteca del Congreso de los Estados Unidos). Esta lista es una herramienta de referencia que otorga identificadores estándares, a nivel internacional, para las instituciones que emplean registros MARC y para la organización de proyectos de cooperación a escala regional, nacional o internacional. Además, representa los nombres de bibliotecas y otras organizaciones que requieren ser identificadas en el entorno bibliográfico.

Está dirigida a entidades que comparten información a nivel mundial a través de Internet.

De acuerdo a webometrics.info, el portal [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org) ocupa el puesto 1.313 entre 8.000 portales a nivel de centros de investigación en el mundo. A nivel nacional, la página de Cenicafé está entre los 18 mejores portales de Centros de Investigación de Colombia

La Disciplina de Tecnología de la Información y Comunicaciones, durante el 2016 desarrolló actividades con la Red Académica Regional RADAR, específicamente en la ampliación de los canales de comunicación de Internet y Red Académica.

## Unidad de Gestión de Proyectos



Las actividades desarrolladas por la Unidad de Gestión de Proyectos de Cenicafé se concentraron en los siguientes proyectos:

### **Programa Gestión Inteligente del Agua-GIA**

En el marco del Programa GIA, se trabajó en la Transferencia y Sostenibilidad, en la cual se obtuvieron los resultados que contribuyen a la definición de las estrategias e indicadores de transferencia. Para tal fin, se realizaron siete talleres, con un total de 84 participantes, de los equipos GIA Departamentales, Oficina Central y equipo de Investigación (Cenicafé) y FMM. A través de ellos se establecieron las definiciones de los conceptos Transferencia y Sostenibilidad para GIA, así como la formulación de un glosario y la adaptación de los mismos para los Caficultores GIA. De igual manera, se elaboró una matriz de estrategias que desde los diferentes planes de trabajo del

Programa GIA, buscan lograr la permanencia de los resultados en el tiempo. Para ello se diseñó el aplicativo “Guía para la formulación de estrategias de Transferencia y Sostenibilidad” que se implementó a través de una serie de talleres con los diferentes equipos de trabajo en Cenicafé, Oficina Central y FMM.

Se evaluó la capacidad organizacional de los 25 Grupos vinculados al Programa Gestión Inteligente del Agua. La medición se realizó utilizando la metodología ICOCC, la cual contempló indicadores para cada una de las áreas identificadas como relevantes. Adicionalmente, se construyó un documento preliminar de publicación en el tema de Línea Base (diagnóstico), el cual busca indicar cada uno de los procedimientos necesarios para generar un estudio de Línea Base, tomando lecciones aprendidas y resultados del entregable social del Programa GIA.

### **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, enfocándose en la microcuenca. Este modelo integra los conceptos de corredor de conservación y sistema integrado de gestión en buenas prácticas agrícolas (BPA); para promover el mejoramiento del entorno natural, social y económico en siete microcuencas cafeteras de siete departamentos. Durante este período se han elaborado herramientas de apoyo para que el equipo de Extensión realice actividades encaminadas a lograr los objetivos del proyecto con las comunidades; se han realizado actividades de planeación, verificación y ajuste de actividades de los Extensionistas, a partir de análisis de los indicadores del proyecto; se ha trabajado en la documentación del conocimiento generado con respecto a las especies nativas utilizadas en las herramientas del manejo del paisaje y a la experiencia de la implementación del modelo; y se han definido análisis adicionales para medir el impacto que tendrá el proyecto en la conectividad del paisaje y en la calidad del hábitat, esto último por medio de un monitoreo participativo de las herramientas del manejo del paisaje.

## Asesoría a los Comités Departamentales en la prefactibilidad de las Centrales de Beneficio

Con el Comité del Huila se trabajó con las disciplinas de Poscosecha y Economía en el estudio de prefactibilidad para la construcción de la Central de Beneficio Asobetania en el municipio de la Argentina, Huila. Se calculó el Índice de Capacidades Organizacionales para Comunidades Cafeteras – ICOCC, que permitió identificar aspectos por mejorar desde el punto de vista social e igualmente plantear algunas acciones de mejora. Así mismo, se trabajó en el cálculo del ICOCC como elemento de decisión para preseleccionar cuatro asociaciones y/o grupos para la construcción de centrales o microcentrales de beneficio en el marco de un Proyecto financiado por la Gobernación del Huila.

Para el caso del Comité del Cauca se capacitó a un equipo de profesionales en la metodología ICOCC.

## NAMA Café de Colombia

Durante el año 2016 se coordinaron las actividades con la empresa Lavola, para la construcción de la NAMA (Acciones de Mitigación Nacionalmente apropiadas, por sus siglas en inglés) Café de Colombia. La Nota de Información de la NAMA (NINO) define las actividades que desde el punto de vista de ajuste de los sistemas productivos, uso eficiente de fertilizantes, disminución de emisiones en el proceso de la poscosecha del café, manejo de subproductos y saneamiento básico, podrían ser implementadas en fincas de productores para la mitigación al cambio climático en el subsector cafetero, identificando los impactos

potenciales de la NAMA en términos de contribución de la actividad al desarrollo sostenible del país y potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero-GEI, planteando las medidas de financiamiento del proyecto y estimando el mecanismo de un sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación (MRV).

## Huella Ambiental

La Huella Ambiental es una metodología multicriterio que permite medir el impacto ambiental de un bien o servicio a lo largo de su ciclo de vida, en este caso el sistema de producción de café. Durante la vigencia se estructuró, revisó y ajustó la versión final de la metodología, que es la base para el desarrollo de los pilotos en el campo. El documento refleja información base para el cálculo de la Huella Ambiental en el sistema de producción de café.

## Divulgación y Transferencia



Una 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 encuentran las 129 actividades de capacitación de los Extensionistas de todo el país, a las cuales asistieron 3.248 colaboradores del Servicio de Extensión, desde octubre de 2015 hasta septiembre de 2016.

Se realizó la edición, diagramación y publicación de los Avances Técnicos 460 al 468 y la Revista Cenicafé Vol. 66 No. 2 y Vol. 67 No. 1, el libro Informe Anual de Actividades de Cenicafé del 2015, así como el Boletín Técnico No. 41 “Sombríos transitorios para el establecimiento del café”.

Durante el 2016 como apoyo al programa “Más Agronomía, Más Productividad” de la Gerencia Técnica, los investigadores de Cenicafé han recorrido los departamentos de Quindío, Risaralda, Valle, Tolima, Huila, Caldas, Antioquia y Santander, en los cuales se han capacitado cerca de 1.000 caficultores en los siguientes temas: Variedades de café mejoradas para Colombia, Densidades, edades y renovación de cafetales, Acidez del suelo para el cultivo de café, Sanidad vegetal y Manejo de arvenses.

De igual manera, en el marco del programa “Más Agronomía, Más Productividad”, en Cenicafé se realizó el Encuentro de Coordinadores de Extensión durante los días 6, 7 y 8 de septiembre, en los cuales se realizó la capacitación y profundización en la agronomía de la caficultura en Colombia y los programas de la Gerencia Técnica, para 200 profesionales del Servicio de Extensión.

En cuanto a la atención de visitantes, entre el último trimestre del 2015 y el 2016 se recibieron 201 visitas en las instalaciones de Cenicafé, donde se atendieron 4.996 visitantes, entre los que se encuentran Caficultores, funcionarios de la Federación Nacional de Cafeteros, Entidades Cooperantes, Centros de Investigación, compradores de café y periodistas.

Durante el año 2016 se realizó el despacho de los Avances Técnicos 431 (reimpresión), 445, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 462, la Revista Cenicafé vol. 64 No. 1 y No. 2, vol. 65 No. 1 y No. 2, vol. 66 No. 1 y No.2, el Boletín Técnico No. 40 y el Informe Anual de Cenicafé del 2015, el libro Beneficio del Café y los Anuarios Meteorológicos 2013 y 2014, a los Comités de Cafeteros y colaboradores de Oficina Central. En total, se despacharon cerca de 74.517 ejemplares de las publicaciones anteriormente descritas.

Se ha continuado con la Divulgación de la página web [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org), se ha depurado la base de datos para despachos y hoy se cuenta con 13.206 correos, a los cuales se les envía información sobre nuevas publicaciones y otros temas de interés.



# Recursos Humanos y Financieros



# Recursos Humanos y Financieros

## Dirección Administrativa y Financiera

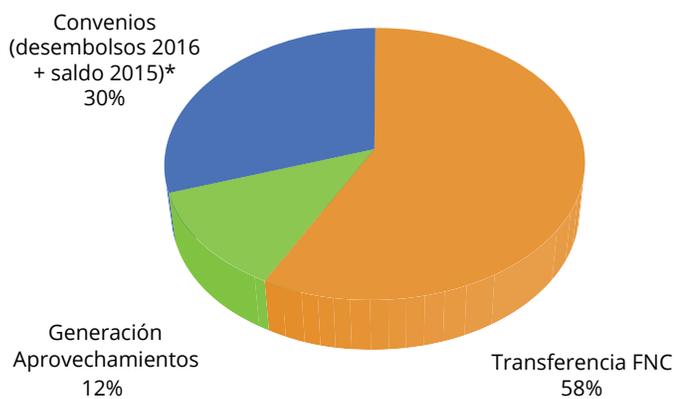
### Presupuesto de Cenicafé

Los recursos para las actividades de investigación de Cenicafé provienen de tres fuentes, las transferencias realizadas por la FNC, la generación de ingresos por aprovechamientos y los recursos aportados por los convenios de cofinanciación. En la Figura 87 se presenta la composición presupuestal de Cenicafé por origen de recursos durante el 2016.



El presupuesto total de Cenicafé para el año 2016 asciende a \$36.385 millones, que corresponde a \$18.979 millones de recursos transferidos por la FNC, \$3.765 millones de ingresos por aprovechamientos y \$13.641

millones por concepto de convenios de cofinanciación celebrados con entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales. La transferencia de FNC a Cenicafé presentó un incremento del 6,5% respecto al año anterior, que correspondió, básicamente, a la inflación del 2015 del 6,77%.



La generación de ingresos por aprovechamientos está constituida por la venta de café, resultado de la actividad experimental en el campo, y por la entrega de semilla de variedades mejoradas de café (Programa de Semilla), a los Comités Departamentales de Cafeteros, como parte de los programas de renovación de la FNC.

Finalmente, en cuanto al presupuesto de convenios de cofinanciación, se continuó con la gestión de recursos, para el desarrollo de las actividades de investigación alineadas con el Plan Operativo de Cenicafé. En el año 2016 se firmaron cinco nuevos convenios, tres con

**Figura 87.** Composición del presupuesto total de Cenicafé 2016

entidades internacionales y dos con entidades nacionales privadas.

**Presupuesto de Cenicafé – Recursos Propios.** Para el año 2016, el presupuesto de recursos propios asciende a \$22.744 millones, de los cuales \$18.979 millones corresponden a recursos transferidos por la FNC y \$3.765 millones a ingresos por aprovechamientos, incluidos \$2.149 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 88).

**Convenios de Cofinanciación.** Cenicafé continuamente gestiona recursos de cofinanciación con entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales, para apalancar el desarrollo de actividades de investigación, como complemento a la financiación estratégica realizada por la FNC. En el año 2016, han estado vigentes 28 convenios con recursos que suman \$9.741 millones, de los cuales cinco convenios se suscribieron en 2016, con tres entidades internacionales y dos privadas (Tabla 36).

## Recursos Humanos

Entre septiembre 2015 y septiembre 2016 se vincularon 49 personas: 13 por nómina fija, 25 por nómina variable, 10 aprendices y 1 pasante. En la Tabla 37 se presenta un resumen con el nivel de formación del personal de nómina para los años 2015 y 2016.

## Administración y depuración de activos fijos

Al 31 de Agosto de 2016, Cenicafé cuenta con 5.901 bienes adquiridos con recursos privados de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, recursos de entidades cofinanciadoras,

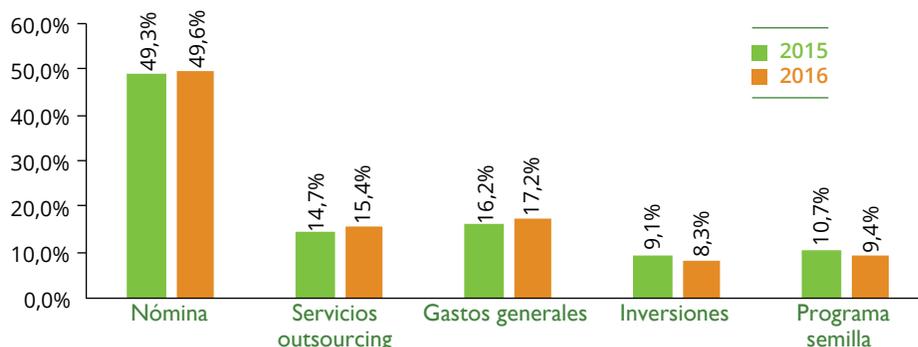


Figura 88. Presupuesto de Cenicafé con recursos propios.

Tabla 36. Convenios Nacionales e Internacionales

Entidades Nacionales	Convenios	Millones \$ <sup>1</sup>	% Total
Colinagro S.A.	1	99	1,0%
Fidu. Previsora	10	698	7,2%
Fidu. Previsora - Casa Luker S.A.	1	511	5,2%
Cheminova	2	102	1,0%
Agrocorp/Cosmocel	1	85	0,9%
Orbiotec S.A.S.	1	22	0,2%
Min.Agricultura - KFW	1	131	1,3%
Departamento del Huila	1	4.415	45,3%
Departamento de Caldas	1	757	7,8%
Dow Agrocienses	1	58	0,6%
<b>Subtotal convenios nacionales</b>	<b>20</b>	<b>6.878</b>	<b>71%</b>
Entidades Internacionales	Convenios	Millones \$ (1)	% Total
Nestec	1	304	3,1%
US Forest Service	1	8	0,1%
GIA: International Division of Netherlands Agency Nestlé	1	1.600	16,4%
Nespresso - Nestec			
Bayer CropScience S.	1	268	2,8%
Jiffy Products of Amerca	1	28	0,3%
Sustainable Agro Solutions S.A. (SAS)	1	46	0,5%
York Potash Ltd.	1	70	0,7%
International Development Research Centre - IDRC	1	539	5,5%
<b>Subtotal convenios internacionales</b>	<b>8</b>	<b>2.863</b>	<b>29%</b>
<b>Total1</b>	<b>28</b>	<b>9.741</b>	<b>100%</b>

<sup>1</sup>Incluye el saldo del año 2015 por \$3.681 millones y los desembolsos estimados a diciembre de 2016 por \$6.060 millones

recursos del Fondo Nacional del Café FON2 y recursos de la Oficina Central.

Durante el período enero-agosto de 2016 se efectuaron 2.351 bajas de activos (Tabla 38), los cuales fueron entregados a título de donación a la entidad sin ánimo de lucro: “Corpoinfantil”, la cual realiza una destinación final sin contaminar el medio ambiente.

### Ajustes SAP – Estructura Cenicafé

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. A continuación se presentan los principales ajustes realizados por Cenicafé en el año 2016.

**Registros contables en los proyectos de investigación.** Con la implementación de las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) se definió que para Cenicafé se registrarán en forma independiente los gastos ejecutados con recursos propios y se identificarán en cuentas separadas los gastos correspondientes a recursos de proyectos cofinanciados.

**Ajuste estructura organizacional.** Luego de realizar un análisis de toda la estructura de la Federación de Cafeteros, el Comité Directivo de la FNC autorizó el ajuste en la estructura de Cenicafé, que impactó la parametrización de SAP, básicamente en los siguientes aspectos:

- Las investigaciones fueron asociadas a las diferentes Disciplinas del Centro.
- Gestionar Tecnología de Información y Comunicaciones se trasladó al grupo de Disciplinas de Apoyo a la Investigación.
- El Centro de Documentación de Cenicafé se trasladó a la Disciplina de Tecnología de Información y Comunicaciones.
- Se conformó la Unidad de Gestión de Proyectos, a partir de la anterior Disciplina de Sostenibilidad, como Disciplina de Apoyo a la Investigación.

**Transformación SAP.** A partir del primero de enero 2017, el Fondo Nacional del Café (FoNC) deberá dar aplicación a las Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF). Un impacto significativo de estas normas en la contabilidad de FoNC tiene que ver con el tratamiento del dólar como moneda predominante en sus operaciones. Esta situación, junto con otros aspectos igualmente importantes, dio origen al proyecto de Transformación del sistema de información SAP. Cenicafé, aun cuando no maneja recursos directos del presupuesto del FoNC, aplica las directrices administrativas y financieras de la FNC, y por ello ha participado activamente en el proyecto de transformación, especialmente en cuatro módulos: PSM – Presupuesto, PM – Mantenimiento, MM- Logística y en la implementación del módulo PS para la gestión financiera de los proyectos.

**Tabla 37.** Nivel de formación académica del personal de nómina de Cenicafé.

Nivel académico	No. de personas Sept. 2015	No. de personas Sept. 2016
Doctorado	16	16
Doctorado en formación	9	9
Maestría	25	28
Maestría en formación	22	24
Especialización	16	18
Especialización en formación	3	7
Pregrado	55	54
Pregrado en formación	9	7
Técnicos/tecnólogos	37	41
Bachiller/primaria	50	51
<b>Total</b>	<b>242</b>	<b>255</b>

**Tabla 38.** Bajas de activos. Año 2016.

Centro de Beneficio (CeBe)	Cantidad de bajas
Cenicafé	2.231
Gerencia Técnica	116
Gerencia Técnica/Proyectos	1
Fondo Nacional del Café	3
<b>Total</b>	<b>2.351</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., Profesional en Comercio Internacional Esp.

##### DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

###### Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.  
Andrés Mauricio Villegas H., Ing. Agrónomo PhD.  
Aristóteles Ortiz., Químico M.Sc.  
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  
Jazmín Vanessa López R., Tecnóloga Química  
Alexis Urriago Y., Téc. Producción Agrícola  
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción Agropecuaria Ecológica  
Gustavo Echeverri M.  
Celeste Castro A., Aprendiz

###### Fisiología Vegetal

Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo  
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo  
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Jenny Lorena Aguirre M., Ing. de Alimentos  
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo  
Constanza Andrea Isaza M., Química Industrial  
Emanuel Felipe Rojas C., Químico  
Javier Rojas O., Ing. Agrónomo  
Braian Alejandro López O., Ing. Agrónomo  
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química

Claudia Marcela Mora A.\*\*  
Mario Franco A.  
Claudia Patricia Valencia V.  
José Robín García C.  
Marlio Fernando Abella D.\*\*

###### Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Alveiro Salamanca J., 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.  
Vanessa Catalina Díaz P., Química  
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental  
Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo Esp.  
Andrés Felipe Castro Q., Ing. Agrónomo\*\*  
Wadi Andrey Castaño C., Ing. Agrónomo  
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola  
Leina Carina Vitobis A., Agrónomo  
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química  
John Andersson Giraldo F. Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias  
Rigoberto Ochoa I., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias  
Arturo Gómez V.  
Alexey Ramírez P., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias

Claudia Patricia Álvarez D., Tecnóloga Química  
 David Alejandro Nieto L., Téc. Formulación e  
 Implementación de Proyectos  
 Sebastián Mejía G., Tecnólogo Químico  
 Wilder Andrés Gutiérrez A.

### Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.  
 Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo M.Sc.  
 Leidy Natalia Bermúdez F., Ing. Agrónomo  
 Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo  
 Luisa Marcela Cerquera B., Ingeniera Agrícola\*\*  
 Jorge Alexis Ramos P., Ing. Agrícola\*\*  
 Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola\*\*  
 Natalia Andrade C., Ing. Agrónomo  
 Carlos Augusto Ramírez C., Téc. Técnicas Forestales\*\*  
 Albenis Tovar P., Tecnólogo en Producción Agrícola  
 Miguel Ángel Erazo R., Tecnólogo en Agricultura de  
 Precisión  
 Jonnier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en Gestión  
 Agropecuaria\*\*  
 Rubén Darío Ibagón E., Tecnólogo en Gestión  
 Producción Sostenible del Café

### Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.  
 Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.  
 Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
 Alexa Yadira Morales C., Bióloga  
 Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo M.Sc.  
 Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo  
 Lucía Ángel G., Bióloga  
 Andrea Valencia O., Bióloga M.Sc.  
 Conrado Antonio Quintero D., Administrador  
 Financiero  
 Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero  
 Jairo Jaramillo O., Téc. Electrónica\*\*  
 Gilbert Rodríguez Q., Téc. Profesional en Desarrollo de  
 Producción Pecuaria  
 Jhon Esteban Quintero A., Téc. Producción de Café  
 Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola  
 Hernán Díaz C.  
 Cruz Elena Díaz M.  
 Omar Villarreal  
 John Sebastián Giraldo V., Aprendiz

### Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.  
 Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.  
 Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.

Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.  
 Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
 Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo  
 Lucio Navarro E., Biólogo; Ph.D.  
 Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial M.Sc.  
 Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo  
 Ferney López F., Ing. Agrónomo/Contador  
 Camilo Efrén López D., Ing. Agrónomo\*\*  
 Adriana Paola Gómez C., Téc. Admón. Producción  
 Limpia de Café  
 Mauricio Jiménez Q., Agrónomo  
 Juan Paulo Pimentel S., Téc. Admón. Empresas  
 Agropecuarias  
 Diana Soraya Rodríguez A., Téc. Producción de Café  
 Wilmar Osorio C., Tecnólogo en Gestión de Empresas  
 Agropecuarias.  
 Juan Carlos Ortiz F.  
 Carlos Alberto Quintero A.  
 Claudia Bibiana Tabares B.  
 Fáber de Los Ríos P.  
 Diana Marcela Giraldo V.  
 Laura Alexandra Laiton J., Aprendiz Universitario

### Agroclimatología

Carolina Jaramillo G., Ing. Agrónoma Ph.D.  
 Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola\*\*  
 Arley Valencia S., Ing. Electrónico\*\*  
 Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola  
 Mauricio Serna O., Ing. Electrónico  
 Wilmar A. Rendón G., Téc. Sistemas Informáticos  
 Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica  
 Myriam Giraldo M.  
 Luis Gonzaga Henao R.  
 Fabián Sánchez L.  
 Luis Fernando Torres Q.  
 Orlando Salazar G.  
 Mario López L.  
 Alexander Restrepo Á., Tecnólogo en Electrónica

### 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 Mario Calle, Ing. Agrónomo M.Sc.  
 Isabel Cristina Ramírez P., Ing. Agrónoma  
 Carlos Alberto Zuluaga E., Téc. Mantenimiento en  
 Comp. y Redes.  
 Carlos Arturo González V.  
 Jorge Dicksson Ocampo M.  
 Jaroliver Cardona G.  
 Alejandro Gallego, Tecnólogo en Gestión Agropecuaria  
 Alexander Jaramillo J.

Carlos Alberto Rojas V.  
Valentina Mejía L., 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.  
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico  
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\*\*  
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\*\*  
Ricardo José Grisales M., Téc. Electrónica  
Jorge Alexander Londoño C., Téc. Soldadura por Arco y  
por Soplete  
Mario Espinosa G.  
Javier Velásquez H.  
Samuel Castañeda  
Walter Mauricio Osorio O.  
Jairo Enrique Rubiano T., Pasante Maestría  
Ana María Jiménez P., Aprendiz

### EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas  
Agropecuarias M.Sc.  
Kelly Johana Correa A., Administración de Mercadeo  
José Farid López D., Téc. Administración Agropecuaria

#### Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo\*\*

#### 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

Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo

Carlos Julio Ramírez Q., Ing. Agrónomo

#### Estación Experimental Paraguaicito

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo\*\*  
Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

#### Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

#### Estación Experimental San Antonio

Pedro María Sánchez A., Ing. Agrónomo  
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos

### APOYO A LA INVESTIGACIÓN

#### Biometría

Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.  
Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.  
Hernando García O., Ing. Agroforestal

#### 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.  
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual  
Jair Montoya T., Administrador de Empresas M.Sc.  
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual  
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual  
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero  
Leidy Liliana Arrendondo R., Aprendiz  
Durlay Andrea Alzate J., Aprendiz

#### 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.  
Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía  
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas Esp.  
Daniel Orozco J., Ing. Sistemas y Telecom Esp.  
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y  
Telecom Esp.  
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecom  
Esp.\*\*  
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. Sistemas y Telecom.\*\*  
Humberto Iván Ríos, Ing. Ambiental Esp.  
José Rubiel Castrillón G., Ing. Sistemas y Telecom.\*\*  
Audberto Quiroga M., Biólogo\*\*

Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico\*\*  
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y  
Desarrollo de Sistemas de Información

#### Unidad de Proyectos

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos M.Sc.  
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial  
M.Sc.  
Paola Andrea Espejo G., Antropóloga, Esp.  
María Caterín Estrada C., Economista Empresarial  
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista\*\*  
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y  
Zootecnista\*\*  
Josué David Espitia F., Economista

### 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\*\*  
María Consuelo González H.  
Carlos Andrés Pineda M., Contador Esp.  
Sergio Alejandro González Q., Aprendiz

#### Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista, M.Sc.  
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial  
Leidy Tatiana Salas C., Profesional en Negocios  
Internacionales  
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de  
Negocios  
Aura Janeth Sánchez P., Tecnóloga en Análisis y  
Desarrollo de Sistemas de Información  
Yolanda Castaño G.  
Gabriel Antonio Melo P.  
Juan Pablo Jaramillo B., Téc. Fotografía  
Lina María Giraldo, Téc. Asistencia Administrativa\*\*  
Diana Marcela Buitrago R., Aprendiz  
Steven Giraldo R., Aprendiz

#### Gestión de Bienes y Servicios Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónica\*\*  
Paulo Alejandro Arias C., Ing Electricista Esp.  
Gabriel Hernando Ortiz C., Téc. Gestión Bancaria y  
Financiera  
Javier Vanegas V. Téc. Electricista

Mauricio Alexander Erazo S., Téc. Electricista  
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica  
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.

#### Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

#### Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social M.Sc.  
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de  
Negocios\*\*  
Germán Uriel G., Administrador de Empresas, Esp.  
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud  
Ocupacional Esp.\*\*  
Ángela Liliana Zapata R., Administradora de Empresas  
M.Sc.

#### Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial M.Sc.  
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial Esp.  
Damaris Márquez G., Administradora Financiera M.Sc.  
Juan Sebastián Gómez C., Contador Esp.  
Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas  
Esp.  
Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión  
Administrativa  
Omar Esbeider García O., 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)