

Informe Anual 2025





Informe Anual

2025

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Ricardo Bonilla González

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Martha Viviana Carvajalino Villegas

Ministro de Comercio, Industria y Turismo
Luis Carlos Reyes Hernández

Director del Departamento Nacional de Planeación
Alexander López

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros
Rogelio Andrés Rodríguez Castillo

Representantes Gremiales

Período 1° enero/2023 - 31 diciembre/2026

Jorge Alberto Posada Saldarriaga (Antioquia)

José Alirio Barreto Buitrago (Boyacá)

Eugenio Vélez Uribe (Caldas)

Danilo Reinaldo Vivas Ramos (Cauca)

Juan Camilo Villazón Tafur (Cesar-Guajira)

Javier Bohórquez Bohórquez (Cundinamarca)

Ruber Bustos Ramírez (Huila)

Javier Mauricio Tovar Casas (Magdalena)

Jesús Armando Benavides Portilla (Nariño)

Armando Amaya Álvarez (Norte de Santander)

Carlos Alberto Cardona Cardona (Quindío)

Luis Miguel Ramírez Colorado (Risaralda)

Héctor Santos Galvis (Santander)

Carlos Sánchez Serrano (Tolima)

Camilo Restrepo Osorio (Valle)

Gerente General

Germán Alberto Bahamón Jaramillo

Gerente de Operaciones

Carlos Arturo Azuero Perdomo

Gerente Financiero y Recursos Organizacionales

Reynaldo Díaz Medina

Gerente Comercial

Esteban Ordoñez Simmonds

Gerente Técnico

Gerardo Montenegro Paz

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

ISSN - 2145-521X

ISSN - 2744-9211 (En línea)

DOI 10.38141/10783/2025

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.

©FNC - Cenicafé®
2025

Comité Editorial Cenicafé

Marco Aurelio Cristancho A.

Ph.D. Microbiólogo. Fitopatología, Cenicafé

Carmenza Esther Góngora B.

Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé

Aída Esther Peñuela M.

Ph.D. Ing. Alimentos. Poscosecha, Cenicafé

Diana María Molina Vinasco

Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé

Luis Fernando Salazar G.

Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

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

Sandra Milena Marín L.

Ing. Agrónoma, Esp. M.Sc.

Diseño y diagramación

Óscar Jaime Loaiza E.

Figuras

María del Mar Alvarado C.

Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías

Página 5 y 38, Jorge Valencia

Archivo Cenicafé

Cómo Citar:

Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2025). Informe Anual Cenicafé 2025. <https://doi.org/10.38141/10783/2025>

Contenido

Resumen ejecutivo

5

Disciplinas de investigación

Agroclimatología	15
Biometría	27
Calidad	29
Economía Agrícola	38
Entomología	40
Experimentación	47
Fisiología Vegetal	48
Fitopatología	54
Fitotecnia	59
Mejoramiento Genético	68
Poscosecha	86
Suelos	96

13

Disciplinas de apoyo a la investigación

Divulgación y Transferencia	105
Tecnología de Información y Comunicaciones	106

103

Recursos humanos y financieros

Unidad Administrativa y Financiera	109
Colaboradores Cenicafé	113

107

Resumen **ejecutivo**





Centro Nacional de Investigaciones de Café



Cosechando el futuro: ciencia e innovación para resolver los desafíos de la caficultura

Atendiendo las recomendaciones del Congreso Nacional Cafetero, que pretenden mejorar de manera constante la producción de café de alta calidad, generando una fuente de ingresos para medio millón de familias y una oferta significativa de sacos de café suave lavado para el mundo, Cenicafé adelantó el Plan Operativo 2025 bajo la orientación de la Gerencia Técnica, y con la responsabilidad de prestar el Bien Público de Investigación Científica que ofrece la Federación Nacional de Cafeteros para todos los cultivadores del país.

Con el objetivo de lograr mayor rentabilidad y competitividad en la producción de café colombiano, incrementado la productividad, reduciendo los costos de producción y aumentado el valor del grano por su calidad, el equipo de Cenicafé impactó con más de 90 proyectos de investigación científica los ejes económico, ambiental y social de la caficultura, dentro de los lineamientos de austeridad, eficiencia e innovación señalados por la Gerencia General, y con un enfoque en la sostenibilidad y en los mercados mundiales.

La búsqueda permanente de soluciones a los desafíos de la caficultura aplicando el método científico para soportar el Cambio Técnico entre los productores por medio del Servicio de Extensión, el cliente principal de Cenicafé, se lleva a cabo bajo un Sistema de Gestión Integral certificado, que considera la seguridad y la salud en el trabajo, la protección del medioambiente y el respaldo de los resultados con inferencia estadística y revisión de pares, desarrollando la estrategia de “Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad”, para hacer de la producción de café una actividad con futuro.

A continuación, se presenta el resumen de los avances más significativos de este año.

El desafío de la productividad mundial

Las variedades mejoradas de café han sido el pilar en el que se fundamentan los sistemas de producción que hoy responden por los volúmenes más altos de sacos de café de los últimos 33 años, lo que le da confiabilidad al mercado en el suministro de café colombiano. Se mejoró la condición de la Colección Colombiana de Café, un recurso invaluable de diversidad genética para introducir nuevas características agronómicas en los cultivos, reduciendo los sitios perdidos del 41,2% al 5,6%.

En el estudio de la resistencia a la enfermedad de las cerezas del café (CBD), se confirmó la presencia de variantes patógenas de *Colletotrichum kahawae*, y la existencia de nuevas fuentes de resistencia, lo que fortalece la estrategia de diversificación genética en las nuevas variedades de café. Por su parte, ante la amenaza de la roya se avanzó en el desarrollo de poblaciones altamente resistentes a esta enfermedad, originadas a partir del cruzamiento de un híbrido de Timor no utilizado previamente, con *Coffea canephora*, así como mediante hibridaciones interespecíficas de *C. arabica* con *C. canephora* y *C. liberica*. En líneas derivadas de cruces interespecíficos se evaluó la presencia del compuesto ortometil cafestol (16-OMC), optimizando la técnica cromatográfica para su detección. El 86% de las líneas analizadas presentó concentraciones elevadas ($> 40 \text{ mg kg}^{-1}$) del compuesto, consideración necesaria en el desarrollo de modelos predictivos mediante espectroscopia NIRS aplicables en los puntos de control de compra y exportación.

La investigación sobre androesterilidad reveló valores de heterosis hasta del 177% y se avanzó en la restauración de fertilidad de híbridos interespecíficos con potencial agronómico y atributos sensoriales diferenciados. En el componente de mejoramiento por producción, se finalizó la primera evaluación de variedades híbridas destacadas por su alto rendimiento, que presentan productividades entre un 70% y un 125% superiores a las de las variedades comerciales. En el componente de resistencia a la broca, se confirmó en variedades híbridas F1 una reducción de la oviposición entre el 25% y el 70%, junto con altos rendimientos y una calidad sensorial destacada. Con el objetivo de propagar estas variedades, se avanzó en el desarrollo exitoso de una metodología de propagación in vitro mediante biorreactores RITA®. Así mismo, se obtuvieron progenies avanzadas en la generación F3 que presentan una reducción del número de estados en el campo entre el 24,1% y el 70%, además de resistencia a la roya, porte bajo y producción comparable a la de las variedades comerciales.

Con el propósito de caracterizar la identidad y el origen genético de los principales varietales cultivados en la zona cafetera colombiana, se adelantaron pruebas de secuenciación de ADN que evidencian que varios de estos materiales, con amplia distribución en el país, presentan alta similitud genética con componentes de variedades desarrolladas por Cenicafé.

En el campo, el efecto de la densidad de siembra sobre la producción acumulada de café en la variedad Cenicafé 1, ubicada en las localidades de Norte de Santander y Cauca, indicó los mejores resultados en el rango de 7.500 a 10.000 plantas/ha, independientemente del sistema de producción, bajo sombra y a plena exposición solar. Con relación a los requerimientos nutricionales del cultivo de café, al evaluar el efecto de la distribución de los fertilizantes en función de la edad de la planta, para las condiciones de la Estación Naranjal en Chinchiná-Caldas, puede considerarse que distribuir de forma diferencial los fertilizantes según la edad de la planta no promueve cambios en la producción acumulada respecto a las recomendaciones actuales de la fertilización. La evaluación de la recurrencia de métodos de renovación temporales en tres localidades y por un período de siete años, como las podas calavera y pulmón, recomendadas para el ordenamiento de las edades según los ciclos de producción, mostró diferencias estadísticas en la producción acumulada a favor de la poda calavera, con períodos de dos cosechas y la alternancia con zoca común, en dos localidades, respecto a zoca común. De manera simultánea, la evaluación de la poda calavera en ciclos recurrentes de una y dos cosechas en parcelas semicomerciales mostró incrementos de la producción en la poda calavera recurrente a dos cosechas, respecto a la poda calavera recurrente a una cosecha (conocida

como Safra Cero). Estos resultados ratifican la bondad de alternar la poda calavera con la zoca tradicional en la estrategia de estabilización de los ciclos de producción, además de la posibilidad de recurrir de la poda calavera a dos cosechas, hasta por dos intervenciones consecutivas.

Con el fin de facilitar el uso de los análisis de suelos, se aplicó la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) para determinar rápidamente y a bajo costo las propiedades químicas de suelos de la zona cafetera colombiana, se encontró el mejor desempeño predictivo para la cuantificación de aluminio y materia orgánica. Regionalmente, en las nueve Estaciones Experimentales, con un área total de 367,08 hectáreas, se realizaron 155 réplicas de investigaciones y nueve réplicas en fincas particulares, especialmente en el establecimiento de parcelas de validación de la caficultura para zonas bajas.

El desafío de la mejor calidad

Colombia es la principal fuente de cafés suaves lavados reconocidos por su alta calidad de taza, y es importante continuar con la implementación de procesos como las siete prácticas (7P®) y el desarrollo de nuevas estrategias para seguir liderando la caracterización, conservación y potencialización de cafés de alta calidad (≥ 84 puntos SCA), con resultados clave en la protección del origen y el procesamiento poscosecha. En este sentido, la variedad Castillo 2.0 mostró un alto potencial de calidad, con el 51% de sus progenies clasificadas como granos supremos y el 30% superando los 83 puntos SCA, destacando la progenie 232#333 con 87,1 puntos. El estudio de 20 ecotopos cafeteros ratificó la alta calidad del café producido en la zona central colombiana e identificó como prácticas clave para la producción de cafés de alta calidad las clasificaciones y el secado continuo del grano.

Respecto a los defectos sensoriales, el fermento se asocia con la mezcla de lotes de café despulpado procedentes de diferentes días de recolección, en fermentación continua del mucílago durante un período superior a 48 horas, sin adición de agua, mientras que la presencia de más del 10% de frutos pintones en la masa de café incrementa significativamente la incidencia del defecto inmaduro, caracterizado por perfiles sensoriales con fragancia y aroma a cereal, sabor residual astringente y notas herbáceas. En los métodos de procesamiento vía semi-seca para obtener café honey, el secado combinado (solar/mecánico) alcanzó una reducción inicial de humedad del 30% en 96 horas, independientemente del contenido inicial de mucílago, y el secado mecánico provocó un oscurecimiento del pergamino, posiblemente por la caramelización de azúcares a altas temperaturas. En el ámbito de la fermentación, se evaluaron el uso de levaduras nativas y la fermentación prolongada, lo que evidenció que esta última no afectó significativamente

la calidad sensorial en condiciones controladas. También se investigó la fermentación anaerobia, identificando los microorganismos predominantes y desarrollando un índice de calidad de fermentación (QFI) que permite evaluar la estabilidad e inocuidad del proceso.

La técnica NIRS y el análisis de componentes principales demostraron ser herramientas robustas para la discriminación del origen (Colombia, Brasil, Perú) y de la especie (*C. arabica* - *C. canephora*) en café verde, tostado y molido, con varianza explicada $\geq 95\%$, lo que valida su uso en la protección del origen. La conservación de la calidad del café tostado demostró que los empaques de alta barrera protegen el café tostado en grano hasta 180 días a $18,63^{\circ}\text{C}$, mientras que el café tostado molido reduce drásticamente su calidad a partir de 90 días debido a la oxidación, por su mayor susceptibilidad a las condiciones ambientales.

El desafío de la sostenibilidad ambiental

La preservación y recuperación de los recursos naturales asociados a la producción de café son esenciales para proyectar el cultivo hacia las generaciones venideras. Con este propósito, la investigación sobre la incorporación de la pulpa de café al suelo antes de la siembra reveló que su efecto en la producción de café varía según el tipo de suelo, siendo suficiente un 15% de pulpa (proporción 6:1 suelo:pulpa). Respecto al efecto del yeso agrícola como alternativa para manejar la acidez del suelo, se obtuvieron resultados positivos en la producción de café en una de las tres localidades, con un aporte de dos toneladas por hectárea. Se estimó la extracción de nutrientes y la fijación de carbono por el maíz y el frijol asociados al café, y se finalizó el estudio sobre el efecto de abonos verdes (AV) a partir de leguminosas intercaladas con el café durante su crecimiento. La descomposición de los AV liberó nitrógeno y potasio en cantidades adecuadas para cubrir los requerimientos del café durante su establecimiento, promoviendo la abundancia de microorganismos involucrados en el ciclaje de nutrientes y de hongos micorrizales, y el sombrero transitorio de las leguminosas utilizadas como fuente de AV redujo la producción en el primer año. Se avanzó en el estudio de fertilizantes de origen avícola como alternativa para su uso en almácigos.

En el manejo integrado de arvenses, se observa un control eficaz de arvenses de hoja ancha y gramíneas, sustituyendo hasta en 50% la dosis de glifosato mediante el uso de herbicidas de menor restricción, sin afectar la producción de café y fomentando el establecimiento de coberturas nobles. En la caficultura regenerativa se estudia la propagación de arvenses nobles y, dentro de las estrategias para la adaptación de la caficultura a la variación climática, se evalúan las reservas de carbono orgánico del suelo (0–30 cm),

encontrándose en Huila, Risaralda y Quindío valores entre 158 y 195 Mg por hectárea.

Los trabajos en fuentes de energía alternativa validaron un beneficiadero sostenible de café equipado con 18 paneles solares, los cuales generaron en promedio 20,67 kWh diarios, logrando una reducción estimada de 3,7 toneladas de CO₂ por año. En los procesos de secado, se diseñaron y evaluaron dos estructuras solares modulares que permitieron disminuir los tiempos de secado entre 40% y 47%, mejorando la eficiencia sin comprometer la calidad. Adicionalmente, se validó el controlador Q&T, que optimizó el uso de energía y redujo los costos operativos hasta en un 59%.

En cuanto a la adaptación a la variabilidad climática, el estudio del comportamiento del clima indicó que el período de octubre de 2024 a septiembre de 2025 se caracterizó por condiciones oceánicas de fase Neutra con sesgo frío de El Niño Oscilación Sur (ENOS) en el océano Pacífico, lo que moduló el clima en la región cafetera colombiana. El monitoreo de 14 estaciones reveló que la precipitación anual se mantuvo cercana o ligeramente superior a la normal climatológica. En el año 2025 se registraron 116 récords de lluvia mensual máxima y 22 de mínima. Febrero de 2025 fue uno de los más lluviosos de la historia en la región Central, especialmente en Caldas. Por el contrario, julio fue el más seco en el registro histórico para diez estaciones de la región Central. En cuanto al déficit hídrico (Índice de Disponibilidad Hídrica $< 0,3$), la región Central registró déficit en enero y julio, con una anomalía en el patrón de febrero que afectó la floración. En este período se continuó con el servicio agroclimático a la comunidad cafetera mediante la emisión de los Boletines Agrometeorológicos Cafeteros No.110 a 121 y la publicación del Anuario Meteorológico 2023.

En este registro del clima se finalizó la investigación destinada a asegurar la continuidad y la calidad de las series históricas de datos meteorológicos durante la transición de Estaciones Convencionales (EMC) a Automáticas (EMA). Aunque el proceso no confirma la continuidad de las series climáticas de las EMC en todas sus variables, lo detectado en este estudio se optimizó la calidad de la información de las EMA mediante mejoras en el mantenimiento y la calibración de los sensores. La estimación de las condiciones hídricas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo se mejoró mediante la adaptación de un modelo lineal para establecer las relaciones entre la lluvia diaria externa mayor a 1,0 mm y la lluvia efectiva, el cual se integrará en el cálculo del balance hídrico. Con relación al ajuste y validación de modelos de predicción climática, se consolidaron las series climáticas históricas (1981–2025) y se validaron fuentes de información climática satelital, para calcular índices climáticos extremos, los cuales revelaron tendencias

crecientes significativas de la precipitación en más del 30% de las estaciones y en más del 70% de la temperatura de las estaciones analizadas. Se confirmaron fuertes relaciones entre los índices de sequía: Índice estandarizado de precipitación (SPI) e Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) y el fenómeno ENOS. La influencia del ENOS presenta un retraso de 2–3 meses. En la predicción estacional, el análisis retrospectivo evidenció la superioridad del modelo CFSv2 de la temperatura superficial del mar frente a las observaciones de ERSST. Finalmente, la corrección y ponderación de un modelo multi-ensamble (MME) basado en predicciones CS3 mejoraron la capacidad predictiva de la precipitación.

La caracterización biofísica de las zonas cafeteras para evaluar la vulnerabilidad de los sistemas productivos ha seguido avanzando. Se consolidó información climática, de suelos y del SICA, generando rásteres con los indicadores agroclimáticos anuales de precipitación, brillo solar acumulado y amplitud térmica media. A partir de la información de los estudios departamentales de suelos y de zonificación del IGAC, y de una amplia base de datos de los estudios de FNC - Cenicafé, se obtuvo un ráster de lámina de agua aprovechable, esencial para calcular el déficit hídrico decadiario en las etapas fenológicas del cultivo.

El desafío del cumplimiento normativo

La producción agrícola está permanentemente sujeta a regulaciones nacionales e internacionales que imponen condiciones sobre factores como el uso de agroinsumos, el manejo de subproductos y la gestión del agua. En los avances en el manejo de plagas del café y en alternativas sostenibles de control, se promovió el uso de bioinsumos, como la Colección de Hongos Entomopatógenos de Cenicafé, con cepas clave de *Beauveria bassiana*, y de los parasitoides africanos *Phymastichus coffea* y *Prorops nasuta*, en programas de control de broca. Se documentó la primera epizootia de la plaga *Acharia intensa*, causada por el hongo *Cordyceps farinosa*, y fue posible validar la estrategia de manejo del café sin insecticidas químicos, desarrollando trampas digitales para registrar brocas e integrando así tecnologías de Agricultura 4.0. Se reportó por primera vez la muerte de cafetos por la cochinilla de la raíz *Puto barberi*, asociada con hormigas invasoras, estableciendo umbrales de acción para su manejo, y se estudió la biología del barrenador del tallo *Plagiohammus colombiensis* y se registraron sus primeros enemigos naturales.

En cuanto a la roya del cafeto, la incidencia nacional ha llegado al 6,4%, sin registro de epidemias y con brotes localizados, generando la necesidad de evaluar fungicidas nuevos y seguros, como Elatus®, Eminent® Excell y

Sphere Max SC 535®, los cuales fueron validados en su control eficaz de la roya, protegiendo la producción, especialmente con aplicaciones en esquemas de rotación de moléculas. También se han iniciado ensayos para aplicar estos fungicidas con drones. Para la enfermedad cuarentenaria CBD (*Colletotrichum kahawae*), ausente en América, pero de alto riesgo, se están evaluando 35 productos químicos y biológicos in vitro para desarrollar herramientas de manejo preventivo. Paralelamente, se inició un proyecto colaborativo con World Coffee Research y el USDA para identificar nuevos genes de resistencia a la roya y desarrollar marcadores moleculares que faciliten el mejoramiento de nuevas variedades de *C. arabica* con resistencia durable a esta enfermedad.

Trabajos de investigación abordando el impacto económico que ejerce la competencia de la arvense *Conyza* spp. en el cultivo del café, cuantificando las pérdidas de rendimiento y validando el Manejo Integrado de Arvenses (MIA) como la estrategia más rentable y sostenible, demostraron que el momento de la intervención es el factor de éxito más crítico, siendo el control químico más factible y efectivo en la etapa de roseta y casi ineficaz una vez que la planta ha iniciado la elongación del tallo y la floración.

Finalmente, se avanzó en el aprovechamiento de biomasa y subproductos del beneficio para compostaje, evaluando la mosca soldado negra *Hermetia illucens* como estrategia de bioconversión de residuos y fuente de proteína, además de implementar mejoras en el manejo de aguas mieles sin vertimientos y la cosecha de agua lluvia como fuente alternativa, contribuyendo a una caficultura más responsable y resiliente.

El desafío de la eficiencia en la mano de obra

Con el propósito de encontrar alternativas que reduzcan el número de pases de recolección en los lotes, se clasificaron progenies de *C. arabica* según su tiempo de maduración del fruto, empleando grados-día de crecimiento (GDD), radiación fotosintéticamente activa y precipitación, identificando tres grupos de madurez (temprana, intermedia y tardía), con diferencias significativas entre las cosechas principal y de mitaca, información clave para la selección de materiales con tiempos de cosecha diferenciados y adaptados a distintas condiciones ambientales. Así mismo, se determinaron los patrones de emisión de etileno en frutos de café en cuatro estados de maduración y se evaluó el efecto del ácido salicílico (1 mM) como inhibidor. Los frutos maduros registraron la mayor emisión (2,2 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) y una reducción del 15% al cuarto día, lo que evidencia el potencial del tratamiento para prácticas de precosecha que prolonguen la permanencia de los frutos

maduros en el árbol. Se continúa con la aplicación móvil Croppie® basada en Inteligencia Artificial para evaluar su desempeño como técnica para proyectar la cosecha. El análisis preliminar en ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé revela que la aplicación presenta desafíos en la diferenciación de la flor y de los frutos, y subestima sistemáticamente el conteo, lo que limita su precisión. En el componente de automatización, se acondicionó el sistema de control de la máquina clasificadora electrónica de café lavado, optimizando su desempeño operativo. Otra herramienta para el secado es el nuevo dispositivo Gravimet SM2, que demostró alta precisión al determinar el contenido de humedad del café durante el secado mecánico.

Complementariamente, se abordaron las pérdidas físicas y económicas en el proceso de beneficio de café, enfocándose en dos aspectos: el efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y las pérdidas en el proceso de beneficio, y el efecto del mantenimiento, la limpieza y la calibración de la despulpadora. Así mismo, se comparó el proceso realizado por los caficultores con el modelo estandarizado de las siete prácticas clave (7P®) recomendadas por Cenicafé, analizando su impacto en la cantidad y la calidad física del café pergamino seco y en su valor comercial, según los precios de la Cooperativa de Caficultores. Los resultados revelan que un proceso técnico estandarizado reduce la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café excelso, y que la recuperación de pasillas puede aumentar los ingresos hasta en un 8,8%. Por otro lado, la falta de calibración de los equipos puede ocasionar pérdidas de hasta un 73,86% de la producción. Estos hallazgos destacan la importancia de adoptar prácticas técnicas adecuadas para mejorar el rendimiento y la rentabilidad económica de los caficultores.

El desafío de la transferencia y la tecnología para el Cambio Técnico

Cenicafé destaca un período de intensa actividad y de transferencia de conocimiento técnico, atendiendo directamente a más de 7.000 caficultores en la sede Pedro Uribe Mejía, quienes reconocieron a Cenicafé como la "NASA del Café", y 9.006 en las Estaciones Experimentales. Esta cifra significó un aumento del 32% en visitantes y un 25% de actividades presenciales. En la producción científica se publicaron 15 Avances Técnicos y 12 artículos científicos en la Revista Cenicafé, además de cuatro libros, complementados con 13 videos del Boletín Agrometeorológico, 19 "Minutos de Avances", 32 seminarios científicos, y la emisión de diez Boletines Virtuales "Tome Nota". Durante el período octubre 2024 y septiembre 2025 Cenicafé tuvo más de 8.648.663 visualizaciones de sus publicaciones a través de las páginas web, redes sociales, correos electrónicos y

entrega física de las publicaciones, con un crecimiento del 16% en las visualizaciones con respecto al año anterior.

En la producción de semilla, se entregaron 77.797 kg, con un 81,7% de germinación promedio en arena y un cumplimiento del ANS del 91%. Se hicieron los trámites necesarios en la plataforma SimpliflICA para la gestión de registros como productores y exportadores de semilla seleccionada, registro de la unidad de mejoramiento genético y evaluación agronómica y producción de semilla. Además, se logró el registro del cultivar para la variedad Castillo 2.0 y se continuó la gestión con el ICA en las pruebas DHE para las futuras variedades de Cenicafé.

El área de Tecnologías de la Información y Comunicaciones fortaleció su alineación con los objetivos institucionales mediante el impulso de la transformación digital, la modernización de infraestructura y el desarrollo de soluciones innovadoras, avanzando significativamente en la migración y actualización del portal institucional (www.cenicafe.org), las aplicaciones móviles para manejo agronómico, indicadores de mano de obra y monitoreo poscosecha, así como el sistema SIGA de gestión de proyectos. El área de Sistemas de Información Geográfica (SIG) apoyó activamente la investigación mediante mapas técnicos, y se inició una exploración en Inteligencia Artificial mediante el desarrollo de un agente capaz de responder consultas técnicas con base en avances científicos de Cenicafé, generando respuestas con referencias y mapas mentales.

El desafío del soporte a la investigación

La transformación del talento individual en resultados de impacto como equipo está articulada por las acciones del Comité Coordinador de Investigación, el Comité Editorial, el Sistema de Gestión Integral, los comités y actores de Seguridad y Salud en el trabajo, y la Unidad Administrativa y Financiera, todos marcando un estándar alto de calidad, dedicación y compromiso con el objetivo de servir a los caficultores y propender por mejorar su calidad de vida, y respondiendo a la confianza e inversión en la investigación científica que recibe Cenicafé.

Así, el principal ingreso del Centro es la transferencia que la Federación de Cafeteros realiza para el desarrollo de los proyectos de Investigación y Experimentación Científica. El presupuesto de Cenicafé en 2025 correspondió a \$29.484 millones de recursos transferidos por la FNC, \$1.578 millones por generación interna de aprovechamientos, \$687 millones transferidos por la Gerencia Técnica para el proyecto "Zonas de Transición" y el proyecto "Caracterización Agroclimática de las Zonas Cafeteras de Colombia", \$6.000 millones relacionados con la entrega de semilla de variedades mejoradas de café a los Comités Departamentales de Cafeteros y \$7.000 millones por

concepto de convenios de cofinanciación con entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales.

En cuanto al talento humano, al cierre del período, estaba integrado por 186 colaboradores: 64% hombres y 36% mujeres. El 56% de los colaboradores cuenta con formación superior y de éstos, el 69% tiene formación posgradual, de los cuales, 20 profesionales tienen PhD, 27 con Maestría y 25 con Especialización. En colaboración con destacadas instituciones académicas como la Universidad Autónoma, la Universidad de los Andes, la Universidad Javeriana y EAFIT, se desarrollaron cursos de vanguardia en áreas clave de Inteligencia Artificial (IA) Aplicada a la Investigación, Logística, Desarrollo de Aplicaciones y Sistemas Multiagente, e IA para Directivos; Análítica de Datos y Business Intelligence y Power BI. Adicionalmente, los colaboradores obtuvieron la certificación en Técnicas de Preparación de Bebidas a Base de Café (Barismo) a través del SENA, y participaron en talleres especializados de catación dirigidos por la Disciplina de Calidad.

Este Informe Anual cierra un ciclo de la Dirección de Cenicafé. Han sido casi 10 años de vivir diariamente la

compañía, el empeño y los resultados de un grupo de trabajo que ha hecho que las cosas pasen de manera ordenada y respetuosa, en un ambiente de camaradería y con una alta calidad humana. Esa cultura organizacional debe seguir siendo el fundamento del accionar de Cenicafé, que junto con la rigidez en cumplir los diseños experimentales, el cuidado por la toma de los datos, la excelencia en el análisis de resultados y la diligencia en publicar las conclusiones de las investigaciones, resaltan la relevancia de nuestro compromiso con la caficultura de Colombia y hacen que seamos la referencia mundial de la investigación científica aplicada, marcando la ruta para la producción de café de alta calidad de hoy y del mañana. Gracias a este gran equipo de Cenicafé por todos los sueños cumplidos. ¡Siempre adelante, llenos de orgullo!

Álvaro Gaitán B.

Director

Noviembre de 2025

Disciplinas de **investigación**





Monitoreo meteorológico y servicio agroclimático. ACL101007

El período de octubre de 2024 a septiembre de 2025 se caracterizó por condiciones oceánicas de fase Neutra con sesgo frío en el océano Pacífico, lo que moduló el clima en la región cafetera colombiana. El monitoreo de 14 estaciones reveló que la precipitación anual se mantuvo cercana o ligeramente superior a la normal climatológica. La estación Bertha se destacó con 57% más de lluvia de lo normal (Tabla 1). En el año 2025 se registraron 116 récords de lluvia mensual máxima y 22 de mínima. Febrero fue uno de los más lluviosos históricamente en la región Central, especialmente en Caldas. Por el contrario, julio fue el más seco en el registro histórico para diez estaciones de la región Central. En cuanto al déficit hídrico ($IDH < 0,3$), en la región Norte se presentó entre diciembre y marzo. La región Central, sin embargo, mostró déficit en enero y julio, con una anomalía en el patrón de febrero que impactó la floración. La región Sur mantuvo un comportamiento similar al histórico, favoreciendo la floración (Tabla 2). El análisis de temperaturas evidenció un incremento sostenido de las mínimas y una disminución de las máximas, específicamente en el primer semestre, en la mayoría de las estaciones (Tablas 3 y 4), reduciendo la amplitud térmica y afectando la acumulación de biomasa en el café. Este patrón se debe a la mayor nubosidad asociada al enfriamiento del Pacífico. La estación Pueblo Bello fue la excepción, mostrando anomalías positivas de temperatura en todos los meses.

Finalmente, en este período se continuó con el servicio agroclimático a la comunidad cafetera mediante



la emisión de los Boletines Agrometeorológicos Cafeteros No. 110 a 121 y la publicación del Anuario Meteorológico 2024. Se realizaron 335 visitas de mantenimiento a la red meteorológica por parte del personal de Mantenimiento de Cenicafé y 557 visitas de inspección por parte del Servicio de Extensión (Tabla 5).

Determinación del factor de corrección para las variables temperatura, humedad relativa y precipitación, registradas en la estación automática con respecto a las registradas en la estación convencional. ACL101010

Para asegurar la continuidad y calidad de las series históricas de datos meteorológicos durante la transición de Estaciones Convencionales (EMC) a Automáticas (EMA), se implementó una metodología que incluyó la recopilación de metadatos y un control de calidad en las series de temperatura, humedad relativa y precipitación. La compatibilidad se evaluó mediante la diferencia diaria de datos y la aplicación de la prueba de homogeneización normal estándar para identificar puntos de quiebre. En casos requeridos, se usó el mapeo de cuantiles para ajustar series y la validación final se basó en el índice de concordancia de Willmott y el porcentaje de diferencias admitidas por la Organización Meteorológica Mundial. En temperatura se lograron identificar las ecuaciones óptimas en las EMA, alcanzando la continuidad en diez estaciones para la media y 11 para la mínima. Se implementó el cambio a escudos de radiación más grandes y de mejor material, optimizando la precisión del dato. La humedad relativa fue la variable con mayor éxito, logrando la continuidad histórica en muchas estaciones sin necesidad de ajustes. En precipitación, el control de calidad fue crucial para eliminar valores erróneos por taponamientos o errores de digitación, logrando la continuidad en 11 estaciones. Aunque el proceso no confirma una continuidad de las series climáticas de las EMC en todas sus variables, lo detectado en este estudio logró optimizar la calidad de la información de las EMA con mejores mantenimientos y calibraciones de los sensores. La estación Paraguacito destacó por lograr continuidad en cuatro variables, resultados esenciales para la confiabilidad de la información climatológica. Adicionalmente, se generó un análisis histórico por sitio que se publicará como insumo para un libro de historia climática de la red cafetera.

Tabla 1. Comportamiento de la precipitación anual respecto de la normal climatológica.

Estación	Municipio	Departamento	Precipitación (mm)			
			Normal (1990 - 2019)	Octubre 2024 - Septiembre 2025	Anomalía	Magnitud del cambio
Pueblo Bello	Pueblo Bello	Cesar	2.042	2.147	105	5%
La Victoria	Santa Marta	Magdalena	2.362	2.509	147	6%
Blonay	Chinácota	Norte de Santander	1.408	1.677	269	19%
San Antonio	Floridablanca	Santander	1.519	1.684	165	11%
Bertha	Monquirá	Boyacá	1.987	3.124	1137	57%
El Rosario	Venecia	Antioquia	2.644	3.317	673	25%
Naranjal	Chinchiná	Caldas	2.939	3.270	331	11%
Cenicafé	Manizales	Caldas	2.629	3.032	403	15%
La Trinidad	Líbano	Tolima	2.185	2.660	475	22%
Misiones	El Colegio	Cundinamarca	1.406	1.481	75	5%
La Catalina	Pereira	Risaralda	2.282	2.645	363	16%
Paraguaicito	Buenavista	Quindío	2.199	2.651	452	21%
Manuel M. Mallarino	Trujillo	Valle del Cauca	1.705	2.313	608	36%
Manuel Mejía	El Tambo	Cauca	2.078	2.409	331	16%
Jorge Villamil	Gigante	Huila	1.362	1.631	269	20%
El Sauce	La Unión	Nariño	1.863	2.077	214	12%

Estimación de los componentes del balance hídrico para el cultivo de café a libre exposición. ACL103004

A partir de los datos recolectados mediante instrumentación en tres estaciones (Naranjal, Paraguaicito, Manuel Mejía) se establecieron las relaciones entre la lluvia externa y la lluvia efectiva diaria por etapa fenológica (reproductiva, vegetativa y vegetativa+maíz). Se compararon modelos lineales (con interacción lluvia \times etapa), polinómico (grado 2), segmentado, GAM y mixtos (efectos aleatorios por fecha/estación). El modelo lineal mostró alto ajuste ($R^2 \approx 0,933$) y baja complejidad; se detectó heterocedasticidad (Breusch-Pagan), por lo que se reportaron errores estándar robustos HC3. Los modelos no lineales y segmentados ofrecieron mejoras leves en las métricas de desempeño, pero no significativas, y a su vez un incremento en la complejidad y menor trazabilidad para uso operativo. Se adoptó el modelo lineal por etapa, limitado a lluvias mayores a 1,0 mm ($L < 1 \text{ mm} \rightarrow L_{\text{ef}} = 0$) por su ajuste, interpretabilidad y aplicabilidad en el balance hídrico. Este parámetro se

integrará al modelo del balance hídrico, junto con los demás componentes evaluados.

Ajuste y validación de modelos de predicción climática. ACL103009

A partir de análisis de control de calidad, se consolidaron las series climáticas de las estaciones de la Red Climática Cafetera de la FNC (106 de lluvia y 30 de temperatura; >30 años, 1981–2025) y se inició la validación de fuentes externas de información climática como CHIRPS y AgERA5. CHIRPS mostró desempeño moderado–bueno (71% de las estaciones con $R^2 = 0,5–0,8$), mientras que AgERA5 subestimó sistemáticamente la temperatura ($MBE < -1^\circ\text{C}$) y presentó baja concordancia (Tabla 6). Se calcularon índices climáticos extremos y se evidenciaron tendencias crecientes significativas de la precipitación en más del 20% de las estaciones analizadas y de la temperatura en más del 70% de las estaciones (Figura 1). Se evaluaron las relaciones de los índices de sequía (SPI y SPEI) y de las anomalías estandarizadas con el fenómeno El Niño–Oscilación Sur (ENOS), mostrando mayor intensidad de los períodos secos y húmedos

Tabla 2. Número de décadas (período de 10 días) con déficit hídrico IDH<0,3 en estaciones meteorológicas automáticas durante octubre 2024 – septiembre 2025.

Estación	Departamento	2024			2025							
		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Pueblo Bello	Cesar											
San Antonio	Santander											
El Roble	Santander											
Confines	Santander											
Bertha	Boyacá											
Miraflores	Boyacá											
Cocorná	Antioquia											
El Rosario	Antioquia											
Almacafé Letras	Caldas											
Planalto	Caldas											
Naranjal	Caldas											
Anserma	Caldas											
Marquetalia (GIA)	Caldas											
La Catalina	Risaralda											
Ospirma	Risaralda											
Paraguaicito	Quindío											
El Agrado	Quindío											
Julio Fernández	Valle del Cauca											
Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca											
La Trinidad	Tolima											
El Ruby	Tolima											
Jorge Villamil	Huila											
San Agustín	Huila											
El Mirador	Huila											
Tarqui	Huila											
Santa María	Huila											
Manuel Mejía	Cauca											
El Tambo (GIA)	Nariño											

Número de décadas con IDH<0,3 0  1  2  3 

Tabla 3. Comportamiento de la temperatura mínima semestral-°C, respecto de la normal climatológica.

Promedio de Temperatura Mínima °C	Período	Cesar	Santander	Antioquia	Caldas	Tolima	Risaralda	Quindío	Cauca
		Pueblo Bello	Floridablanca	Venecia	Chinchiná	Líbano	Pereira	Buenavista	El Tambo
		Pueblo Bello	San Antonio	El Rosario	Naranjal	La Trinidad	La Catalina	Paraguaicito	Manuel Mejía
Octubre 2024 a Marzo 2025	Normal promedio	15,1	16,7	16,6	17	16,7	17,4	17,1	15
	Anomalía °C	0,7	0,5	0,3	0,5	0,7	0,2	0,2	0,6
Abril 2025 a Septiembre 2025	Normal promedio	16,8	17	16,7	17,1	16,6	17,4	17,3	14,2
	Anomalía °C	0,8	0,4	0,5	0,3	0,7	0,3	0,4	0

Tabla 4. Comportamiento de la temperatura máxima semestral-°C, respecto de la normal climatológica.

Promedio de Temperatura Mínima °C	Período	Cesar	Santander	Antioquia	Caldas	Tolima	Risaralda	Quindío	Cauca
		Pueblo Bello	Floridablanca	Venecia	Chinchiná	Líbano	Pereira	Buenavista	El Tambo
		Pueblo Bello	San Antonio	El Rosario	Naranjal	La Trinidad	La Catalina	Paraguacito	Manuel Mejía
Octubre 2024 a Marzo 2025	Normal promedio	27	23,7	25,2	26,9	24,8	27,3	28	23,9
	Anomalía °C	1,3	0,3	0	-0,2	0,2	-0,5	-0,5	0
Abril 2025 a Septiembre 2025	Normal promedio	27,2	23,9	25,4	26,9	25	27,3	28,3	24,9
	Anomalía °C	0,7	0,4	0,5	-0,2	0,3	0,2	0	0

Tabla 5. Distribución nacional de la red meteorológica cafetera y cantidad de visitas de mantenimiento entre octubre 2024 – septiembre 2025.

Departamento	EMA			EMC		
	Estaciones activas	Visitas BSM (Oct 2024 - Sep 2025)	Visitas SE (Oct 2024 - Sep 2025)	Estaciones activas	Visitas BSM (Oct 2024 - Sep 2025)	Visitas SE (Oct 2024 - Sep 2025)
Antioquia	3	4	8	11	10	17
Boyacá	3	7	7	1	2	4
Caldas	10	24	17	51	32	112
Caquetá	1	1	1	-	-	-
Casanare	1	3	3	-	-	-
Cauca	2	8	1	6	9	15
Cesar	1	2	0	1	2	0
Cundinamarca	1	3	3	12	16	33
Huila	13	24	24	4	5	13
Magdalena	1	3	4	2	1	6
Meta	1	2	3	-	-	-
N. de Santander	6	12	14	3	6	4
Nariño	4	8	6	1	1	2
Putumayo	1	1	0	-	-	-
Quindío	2	11	4	20	27	45
Risaralda	4	12	11	10	12	35
Santander	5	12	12	22	25	58
Tolima	2	6	5	14	20	35
Valle del Cauca	8	11	26	10	13	29
Total	69	154	149	168	181	408

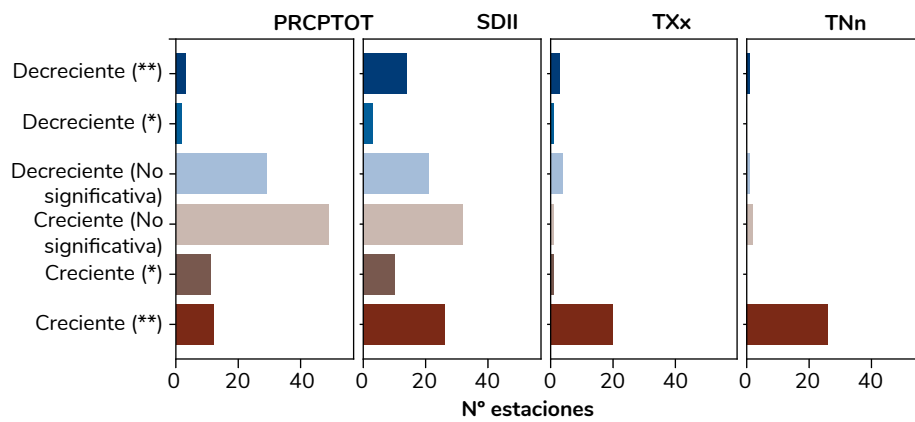


Figura 1. Número de estaciones por tipo de tendencia en índices climáticos extremos: PRCPTOT (suma total mensual de precipitación ≥ 1 mm), SDII (intensidad media de lluvia), TXx (temperatura máxima mensual), TNn (temperatura mínima mensual).

Tabla 6. Número de estaciones por rango de desempeño de las bases de datos AgERA5 y CHIRPS.

		TOTAL	Número de estaciones			
			TMAX	TMED	TMIN	LLUVIA
Métrica de desempeño	Coeficiente de determinación	$R^2 > 0,8$	0	0	0	1
		$0,7 < R^2 \leq 0,8$	1	1	0	15
		$0,5 < R^2 \leq 0,7$	6	9	2	75
		$R^2 \leq 0,5$	23	20	28	15
	Índice de Concordancia	$d > 0,9$	0	0	0	12
		$0,8 < d \leq 0,9$	0	3	0	75
		$0,7 < d \leq 0,8$	2	2	1	17
		$d \leq 0,7$	28	25	29	2
	Error medio de sesgo	$MBE < -1^\circ\text{C}$	28	18	20	13
		$-1 \leq MBE < -0,5^\circ\text{C}$	0	2	4	33
		$-0,5 \leq MBE \leq 0,5^\circ\text{C}$	2	7	4	35
		$0,5 < MBE \leq 1^\circ\text{C}$	0	1	2	13
		$MBE > 1^\circ\text{C}$	0	2	0	12
				AgERA5		CHIRPS

asociados a las fases El Niño y La Niña (Figura 2). Se encontraron correlaciones negativas con el SPI, SPEI y anomalías de lluvia, con valores de hasta $-0,62$ que se mantienen entre 2 y 3 meses y que indican un rezago en los efectos de este fenómeno. Por el contrario, en el caso de la temperatura, las correlaciones fueron positivas (Tabla 7).

Dentro de la validación y ajuste de modelos de predicción, se realizó el análisis retrospectivo con CPT comparando dos fuentes de datos de temperatura superficial del mar ERSST (LT-sim) y CFSv2 (LT-0) en diferentes horizontes predictivos y optimizando especialmente el predictor; CFSv2 superó a ERSST en la mayoría de las temporadas (especialmente en los trimestres MAM/AMJ), con excepción de SON/OND. El desempeño espacial (Kendall y ROC) mostró

heterogeneidad regional y con el modelo CFSv2 se presentaron valores de Kendall $>0,1$ en gran parte del área cafetera, indicando una buena habilidad de este método para generar pronósticos. Así mismo, se realizó la calibración de cuatro modelos de predicción estacional C3S (ECMWF, CMCC, DWD, NCEP), aplicando métodos de corrección como EQM y MOS-ONI y la generación de un modelo multi-ensamble (MME). MOS-ONI mejoró la habilidad de los modelos con un Skill_RMSE positivo. El MME ponderado y corregido alcanzó su mayor habilidad en el trimestre EFM ($\sim 0,27$) y se mantuvo positivo en los trimestres JJA-ASO ($\sim 0,17-0,19$) (Figura 3).

Caracterización Agroclimática de las Zonas Cafeteras de Colombia. ACL103010

Con el fin de definir las condiciones biofísicas de las zonas cafeteras que permitan identificar vulnerabilidades de los sistemas de producción y plantear los ajustes en los sistemas de producción, se inició el proceso para completar el estudio de caracterización agroclimática (<https://agroclima.cenicafe.org/caracterizacion-agroclimatica>) para todos los departamentos cafeteros. En el presente año se consolidó la información climática, de suelos y proveniente del SICA. Se generaron los ráster con información de los indicadores agroclimáticos anuales de precipitación y brillo solar acumulados y amplitud térmica media (Figuras 4, 5 y 6). Adicionalmente, a partir de la información de los estudios departamentales de suelos y zonificación del IGAC y una gran base de datos de los estudios de FNC-Cenicafé, se obtuvo un ráster de lámina de agua aprovechable que cubre todas las zonas cafeteras (Figura 7), insumo necesario para obtener los indicadores agroclimáticos de períodos decadiarios de déficit hídrico en

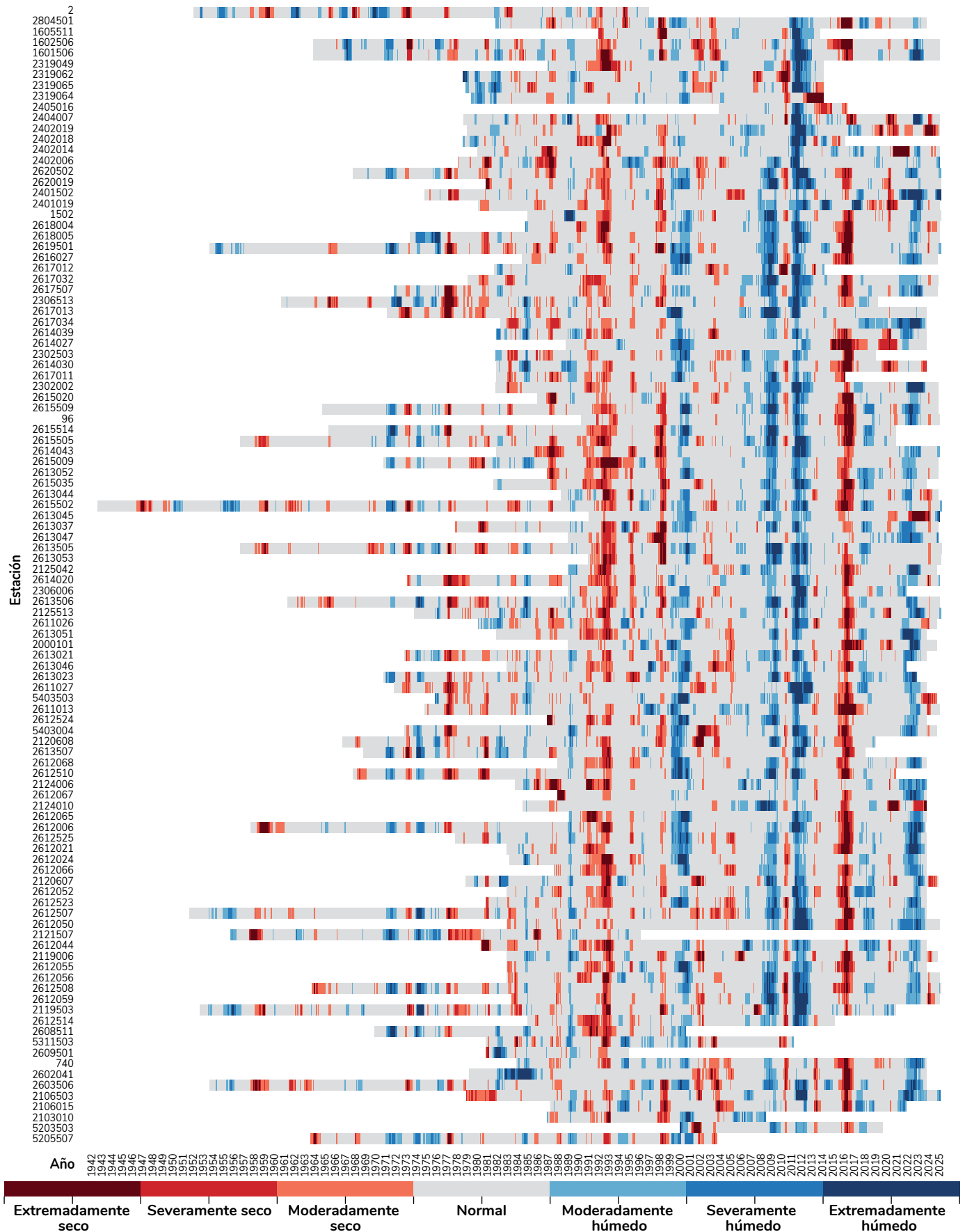


Figura 2. Comportamiento del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI-12) calculado a partir de las series de precipitación de 106 estaciones.

las etapas de floración y desarrollo del fruto.

Evaluación de Croppie®, como herramienta para la estimación de la producción en el cultivo de café. ACL103011

Se avanza en la valoración de la opción tecnológica Croppie®, aplicación móvil basada en inteligencia artificial, con el propósito de revisar su desempeño como técnica complementaria para proyectar la cosecha de café y validarla contra el conteo manual. Se realizaron actividades de captura, almacenamiento y procesamiento de la información, en un primer muestreo realizado en ocho Estaciones Experimentales de Cenicafe (EE), en el que se compararon ambas metodologías. Del análisis preliminar se advierte que Croppie® aún no diferencia bien entre flores y frutos, y aspectos relacionados con las sombras que se generan y ampliación del campo visual, causan falsos conteos de los frutos en la rama objetivo. Del muestreo intensivo de los frutos en 720 ramas por EE (Figura 8), es posible apreciar que existe la tendencia a reflejar una mayor diferencia entre los dos métodos cuando se contabilizan un mayor número de frutos por rama. Al correlacionar el número de frutos rama a rama, descartando errores de la herramienta, se presentó un buen ajuste, sin embargo, un análisis específico en el que se relacionaron las diferencias

entre los frutos estimados y el conteo manual, muestra la existencia de un sesgo en el que el método Croppie® subestima el valor y es consistente que a medida que crece la magnitud de la diferencia el sesgo aumenta (Figura 9).

Tabla 7. Relación entre el ONI (Índice Oceánico El Niño) e índices climáticos (ventanas móviles de tres, seis y 12 meses) con rezagos de tiempo de cero a tres meses.

Índice	Fuente	Correlación de Pearson			
		Rezago 0	Rezago 1 mes	Rezago 2 meses	Rezago 3 meses
SPL_3	Estaciones	-0,35	-0,34	-0,32	-0,29
SPL_6		-0,46	-0,42	-0,37	-0,32
SPL_12		-0,40	-0,35	-0,29	-0,23
SPEI_3	Bases de datos satelitales	-0,51	-0,53	-0,54	-0,52
SPEI_6		-0,55	-0,59	-0,62	-0,62
SPEI_12		-0,41	-0,50	-0,55	-0,61
anom3	Estaciones	-0,45	-0,44	-0,42	-0,40
anom6		-0,54	-0,52	-0,49	-0,46
anom12		-0,58	-0,57	-0,55	-0,51
tmin_anom3		0,27	0,22	0,17	0,12
tmin_anom6		0,25	0,21	0,16	0,11
tmed_anom3		0,57	0,52	0,45	0,38
tmed_anom6		0,57	0,51	0,44	0,37
tmax_anom3		0,60	0,56	0,50	0,44
tmax_anom6		0,62	0,57	0,50	0,43

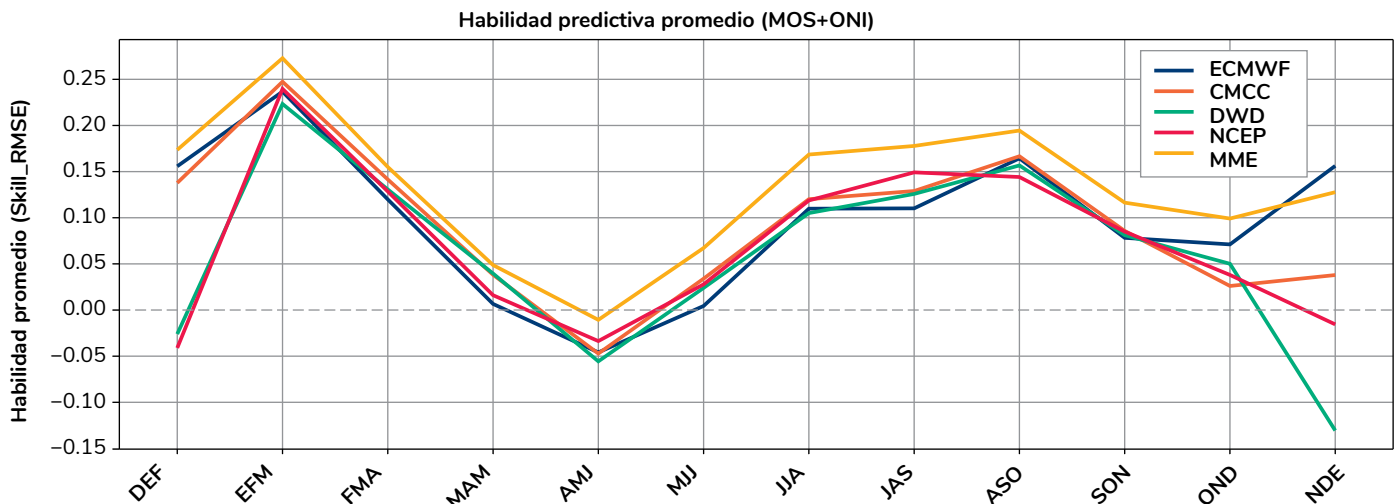


Figura 3. Desempeño (Skill RMSE) los modelos ECMWF, CMCC, DWD, NCEP y del Modelo Multi-ensamble (MME) de precipitación a nivel trimestral.

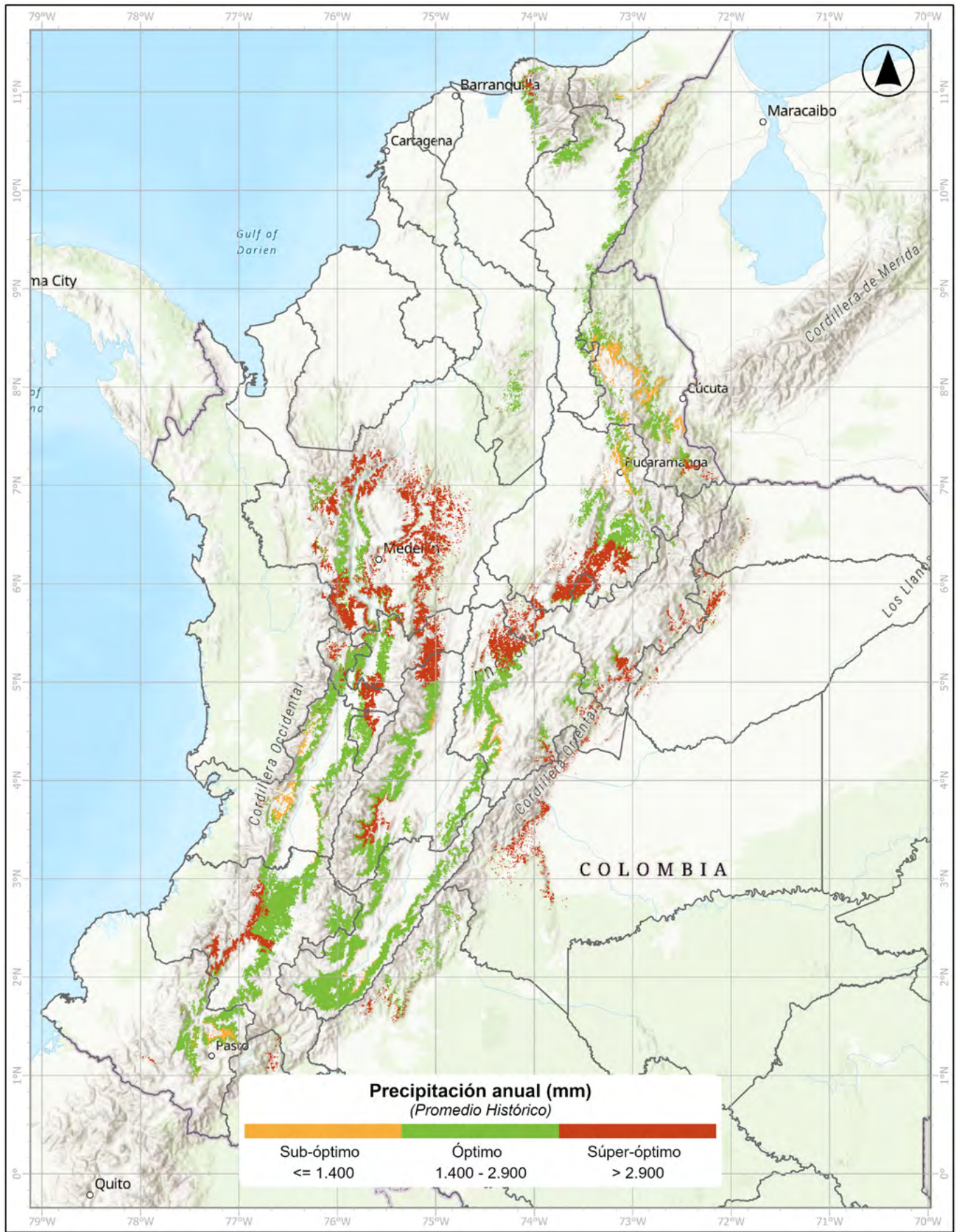


Figura 4. Rangos de distribución de la precipitación anual acumulada – mm.

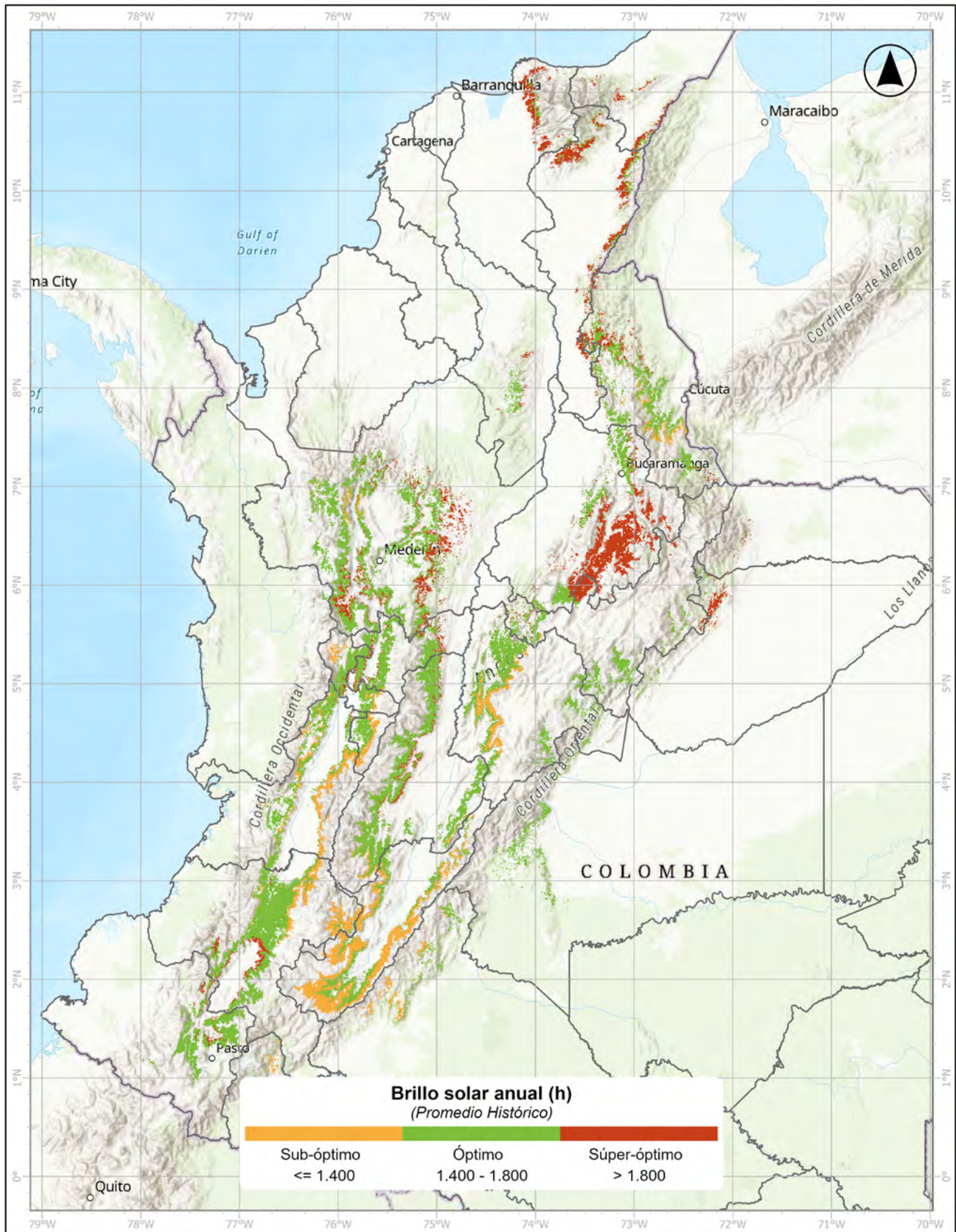


Figura 5. Rangos de distribución del brillo solar anual acumulado – horas.

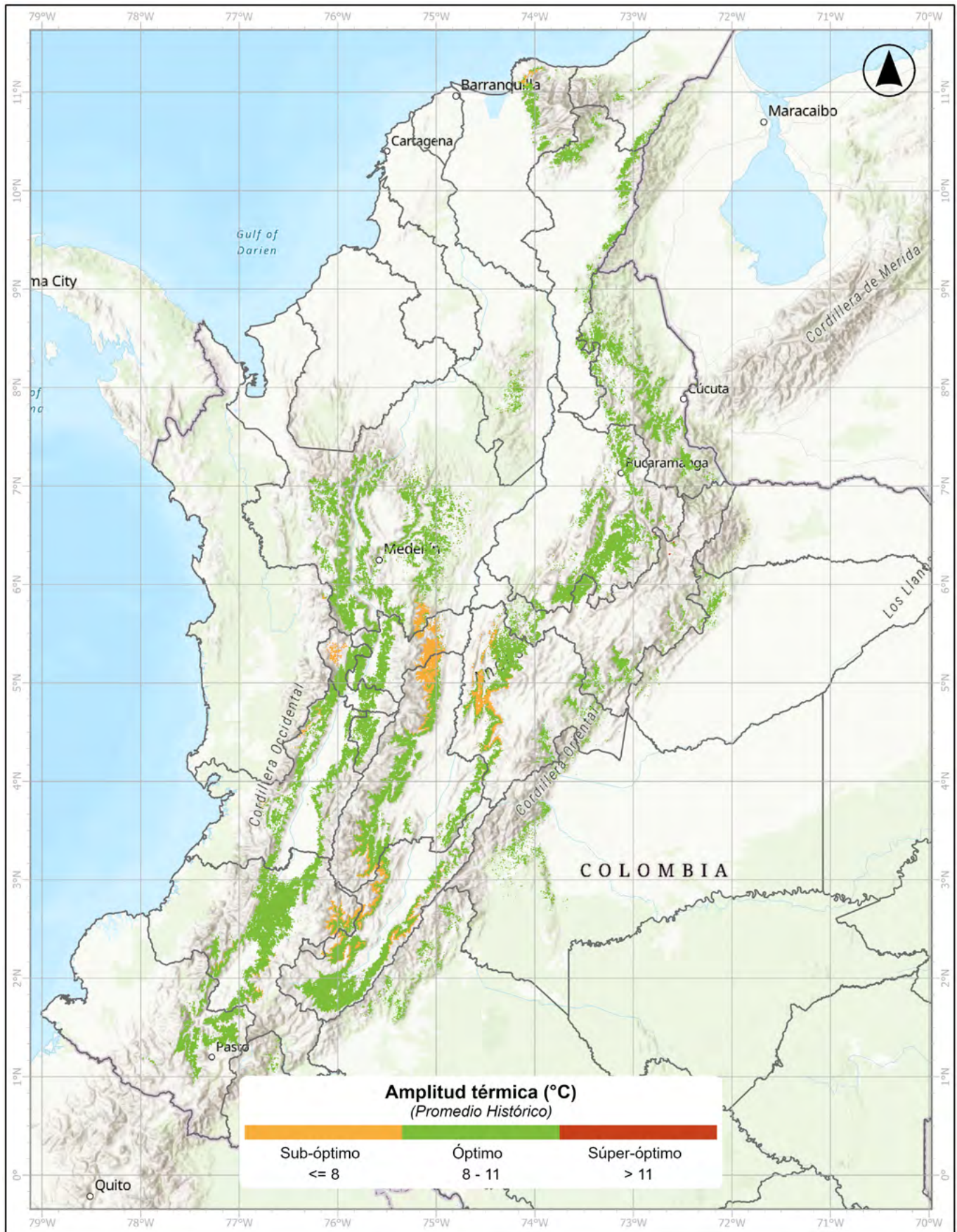


Figura 6. Rangos de distribución de la amplitud térmica-°C.

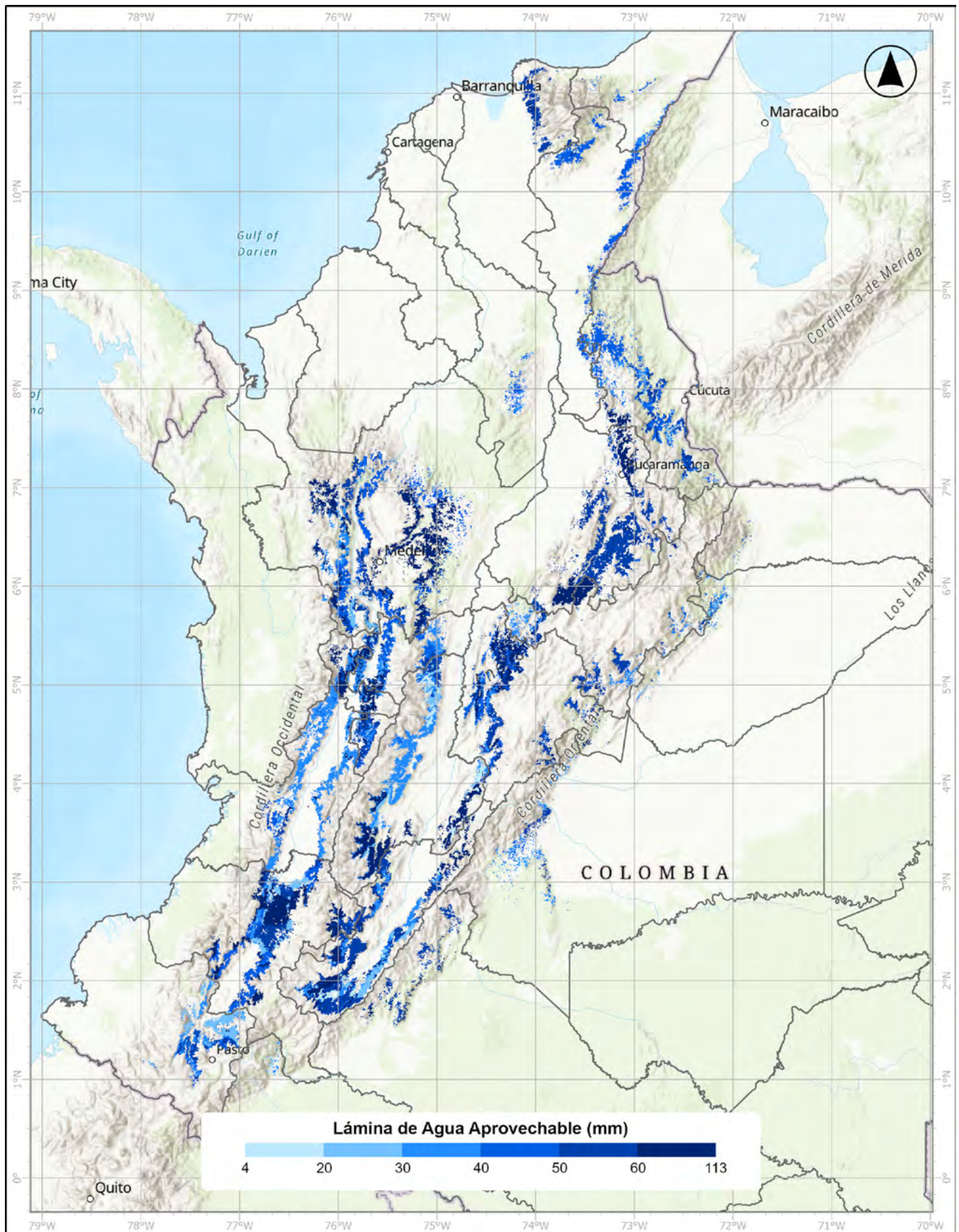


Figura 7. Lámina de agua aprovechable (mm) en la zona cafetera colombiana, calculada para una profundidad de 30 cm.

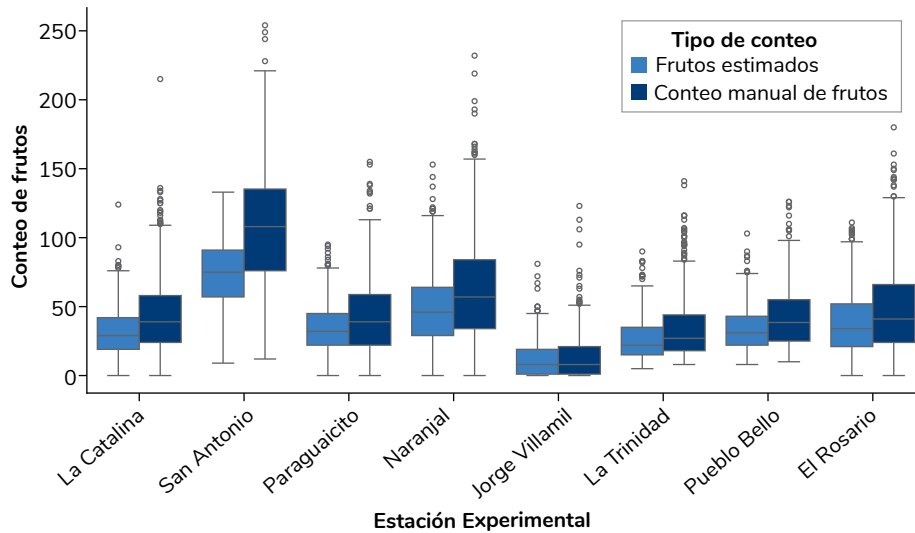


Figura 8. Distribución del conteo de frutos por Estación Experimental. Gráfico obtenido con asistencia de Inteligencia Artificial.

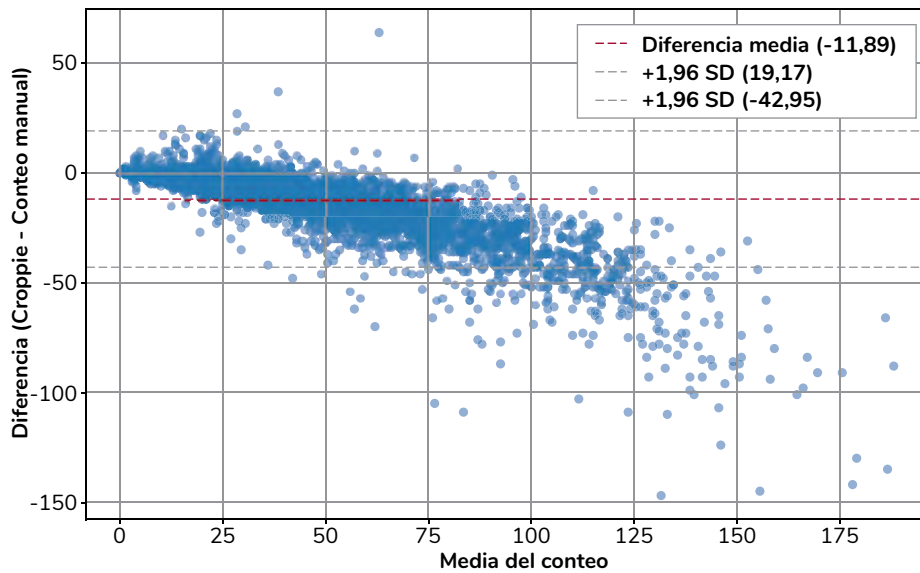


Figura 9. Dispersión de las diferencias entre los métodos de estimación Croppie® y conteo manual sobre un tamaño de muestra de 5.389 ramas. Gráfico obtenido con asistencia de Inteligencia Artificial.

Durante este período, la Disciplina de Biometría, en cumplimiento de su responsabilidad de brindar apoyo técnico a los investigadores en la formulación de proyectos con aplicación del método científico, ha contribuido además en el análisis de datos de investigaciones, mediante el uso de diversas herramientas estadísticas, entre ellas análisis de varianza para diseños experimentales, análisis multivariado y modelos de funciones de probabilidad, entre otros. En total, se llevó a cabo la discusión de al menos 38 propuestas de investigación, de las cuales 19 fueron formalizadas y registradas en el Sistema de Información y Gestión de Proyectos de Investigación (SIGA), con la debida aprobación del Comité de Investigación.

Determinación de propiedades químicas de suelos de la zona cafetera colombiana por espectroscopia de infrarrojo cercano – NIRS. BIO103007

Esta propuesta de investigación, se fundamenta en la ventaja que ofrece esta tecnología para la determinación de propiedades del suelo a bajo costo y con una menor contaminación. La evaluación de las características físicas y químicas del suelo resulta indispensable para tomar mejores decisiones respecto al manejo de la fertilización, buscando altos niveles de productividad en el cultivo de café. Para esto, se requiere realizar análisis de suelo, sin embargo, los procedimientos convencionales implican una serie de etapas desde la recolección de muestras, la aplicación de reactivos, hasta los análisis de laboratorio que demandan tiempo considerable.



En respuesta a estas limitaciones, la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) se ha posicionado como una alternativa innovadora. Este método, basado en la capacidad de las moléculas del suelo de absorber radiación en la región del infrarrojo cercano, hace posible identificar su composición química de manera rápida, no invasiva y sin generar residuos contaminantes. Por la anterior, para el desarrollo de esta investigación, se recolectaron muestras anuales de suelos de estaciones experimentales de Cenicafé y, de cada una, se extrajo una contramuestra de 400 g para realizar la determinación de las propiedades químicas tanto por el método convencional como por NIRS. Inicialmente, las muestras se analizaron con técnicas tradicionales para obtener valores de Materia Orgánica (MO), Magnesio (Mg) y Aluminio (Al), y posteriormente se registró la huella espectral mediante la espectroscopia NIRS.

Con los espectros de cada muestra de suelo, se procedió a detectar y entender los datos atípicos, los cuales pueden originarse por diferentes causas como ruido del equipo o variaciones en el acondicionamiento físico de las muestras, que alteran la forma global del espectro, comprometiendo la solidez de los modelos de análisis. Para resolver este inconveniente, se aplicó un Análisis de Componentes Principales (PCA), a partir del cual se extrajeron los *scores* que representan la descomposición espectral de cada muestra. Con dichos componentes principales se calculó la distancia de Mahalanobis, una medida robusta para identificar valores anómalos. Este filtrado espectral resulta clave, pues al reducir la influencia de datos atípicos se incrementa la precisión y la estabilidad de los análisis subsiguientes, evitando sesgos en la interpretación y en la construcción de los modelos.

Una vez conformada la librería espectral, el paso siguiente fue mejorar la relación señal/ruido de los espectros, para ello, se aplicaron distintos pretratamientos espectrales, tales como la primera (1D) y segunda derivada (2D), así como el método de variación normal estándar (SNV). Los espectros pretratados se emplearon como insumo para la construcción de modelos de Regresión con Máquinas de Soporte Vectorial (SVR), Modelo de Regresión Cubista (RC), Regresión por Componentes Principales (PCR) y Regresión por Mínimos Cuadrados Parciales (PLS), los cuales fueron evaluados mediante el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y la razón de desempeño (RPD).

En la tabla 8, se ilustran los estadísticos de ajuste para uno de los cuatro modelos utilizados haciendo uso de tres pretratamientos espectrales. Se evidencia el efecto que tiene el método de pretratamiento espectral en el resultado de la capacidad predictiva de las diferentes propiedades químicas utilizando el modelo de regresión Cubist. En particular, el método SNV mostró el mejor desempeño, alcanzando altos niveles de ajuste tanto para MO ($R^2 = 87,15\%$, $RPD = 2,82$) como para Al ($R^2 = 92,87\%$, $RPD = 3,77$), lo que respalda su capacidad para predicciones cuantitativas confiables. Por su parte, el pretratamiento 1D produjo resultados aceptables para MO ($R^2 = 81,43\%$, $RPD = 2,32$) y Al ($R^2 = 78,62\%$, $RPD = 2,18$), aunque con menor robustez en comparación con SNV; sin embargo, en el caso de Mg el ajuste fue prácticamente nulo ($R^2 = 6,69\%$, $RPD = 1,01$), lo que refleja limitaciones claras del modelo bajo este escenario. Finalmente, el pretratamiento 2D presentó desempeños más bajos en todas las variables, destacándose únicamente un ajuste moderado para MO ($R^2 = 77,8\%$, $RPD = 1,89$), pero con valores reducidos en Al ($R^2 = 62,63\%$, $RPD = 1,54$) y Mg ($R^2 = 53,28\%$, $RPD = 1,14$), lo cual lo posiciona como el

enfoque menos adecuado dentro de los evaluados. En conjunto, los resultados resaltan que el pretratamiento SNV constituye la estrategia más efectiva para mejorar la calidad de las predicciones espectrales en suelo, particularmente en la estimación de Al y MO, mientras que la predicción de Mg sigue representando un reto para identificar una combinación de pretratamiento y modelo que permita mejorar su estimación.

Los resultados de esta investigación confirman que los análisis NIRS, en combinación con modelos y preprocesamientos espectrales específicos, constituye una herramienta para la predicción de diversas propiedades químicas del suelo en sistemas de producción cafetera. El pretratamiento SNV demostró una capacidad significativa para eliminar el ruido espectral no relacionado con las propiedades químicas de interés, lo que mejoró notablemente el desempeño predictivo de los modelos, independientemente de su estructura. En referencia, el aluminio fue la propiedad mejor predicha, alcanzando un coeficiente de determinación (R^2) del 92,87% y un valor de RPD de 3,77.

Tabla 8. Desempeño estadístico de validación para cada compuesto químico por modelo de regresión Cubist, según pretratamiento espectral.

Pretratamiento	Propiedad química	Regresión Cubist		
		RMSE	R2	RPD
1D	MO	1,47	81,43	2,32
	Al	0,52	78,62	2,18
	Mg	0,89	6,69	1,01
SNV	MO	1,21	87,15	2,82
	Al	0,4	92,87	3,77
	Mg	0,41	78,59	1,59
2D	MO	1,8	77,80	1,89
	Al	1,01	62,63	1,54
	Mg	0,57	53,28	1,14

La investigación científica en calidad del café se enfoca en el conocimiento de los diferentes factores, junto con la optimización de prácticas y controles operacionales a lo largo de las distintas etapas productivas del café, teniendo como objetivo la caracterización, conservación y potencialización de la calidad del grano y el perfil sensorial de la bebida. Este enfoque es crucial para la comprensión integral del impacto en la calidad física, la caracterización sensorial y la composición química del grano. El objetivo de la disciplina es generar conocimiento aplicable para el mejoramiento de la competitividad de los productores, logrando la conservación de la calidad y la diferenciación del perfil del café producido.

Caracterización de la calidad física, sensorial y química del café producido en los ecotopos cafeteros colombianos. CAL101005

Se caracterizó la calidad física, sensorial y composición química del café producido en 20 ecotopos cafeteros de los departamentos de Caldas, Antioquia, Casanare, Chocó, Cundinamarca, Boyacá, Santander, Norte de Santander, Risaralda, Meta, Tolima y Valle del Cauca. Se analizaron 1.110 muestras durante las cosechas de los años 2021 a 2023. El 97,8% de las muestras provenían de variedades resistentes, como Castillo®, Colombia, Cenicafé 1 y Tabi. El promedio de almendra sana fue de 78,1%, se resaltan los ecotopos 105B, 204A, 302A, 305A y 305B, que obtuvieron valores promedio mayores a 79%. El 60% de las muestras no presentaron defecto sensorial y los defectos más comunes fueron el fermento (14%) y terroso (13%). No hubo diferencia entre los ecotopos para la variable puntaje total SCA. Se destacan los



ecotopos 102A, 308A y 309A, que obtuvieron puntajes totales mayores a 85 puntos, que clasifica el café como excelente. Con el análisis de clasificación se determinaron cuatro rangos altitudinales (menor a 1.001 - 1.400 m, 1.401 - 1.800 m y mayor a 1.800 m), que explican las variables de calidad y composición química. En la Figura 10 se presentan los puntajes totales obtenidos para todas las fincas en cuatro rangos altitudinales. Se seleccionaron y visitaron las 50 mejores fincas. Los criterios de selección empleados fueron que, durante los tres muestreos no hubieran presentado defectos sensoriales y obtuvieran un mínimo de 84 puntos SCA, que clasifica el café como muy bueno. En cada finca, se identificó la infraestructura y las condiciones de procesamiento particulares. El 75% de los productores mezclaban lotes de café despulpado de hasta tres días diferentes. El 98% tuvieron la capacidad y la tecnología óptima para realizar el secado y el 75% lo realizó con secado 100% solar. Se resalta en todos los productores, el desarrollo de actividades de clasificación previo y posterior al proceso de despulpado, en el lavado y el secado del grano, lo que permite asegurar la consistencia de la calidad de su café.

Evaluación de la técnica NIRS para la identificación de mezclas de café arábico producido en el país con café arábico de otros orígenes. CAL101009

Esta investigación está relacionada con la caracterización espectral de *Coffea arabica* producida en el país y *C. arabica* proveniente de otros países, con el objetivo de establecer el alcance de la técnica NIRS para desarrollar modelos de predicción que permitan identificar las mezclas de café almendra verde y café tostado con respecto al origen. Se avanzó con la caracterización espectral de muestras de *C. arabica* provenientes de Brasil y Perú (131 y 120, respectivamente); se realizaron los análisis NIRS al café almendra, café tostado entero y tostado molido, en las proporciones establecidas (1.737 análisis). El análisis de la absorbancia media de las muestras puras de café verde de diferentes países reveló diferencias espectrales. Se observó una marcada similitud entre las curvas espectrales de Colombia y Brasil, con valores de absorbancia media cercanos de 0,94 (Colombia) y 0,93 (Brasil) a 1.480 nm. En contraste, el café de Perú presentó valores de absorbancia significativamente más bajos (0,82), lo que indicó una huella espectral diferente respecto a los otros dos orígenes. El Análisis de Componentes Principales (ACP) de las muestras de café verde,

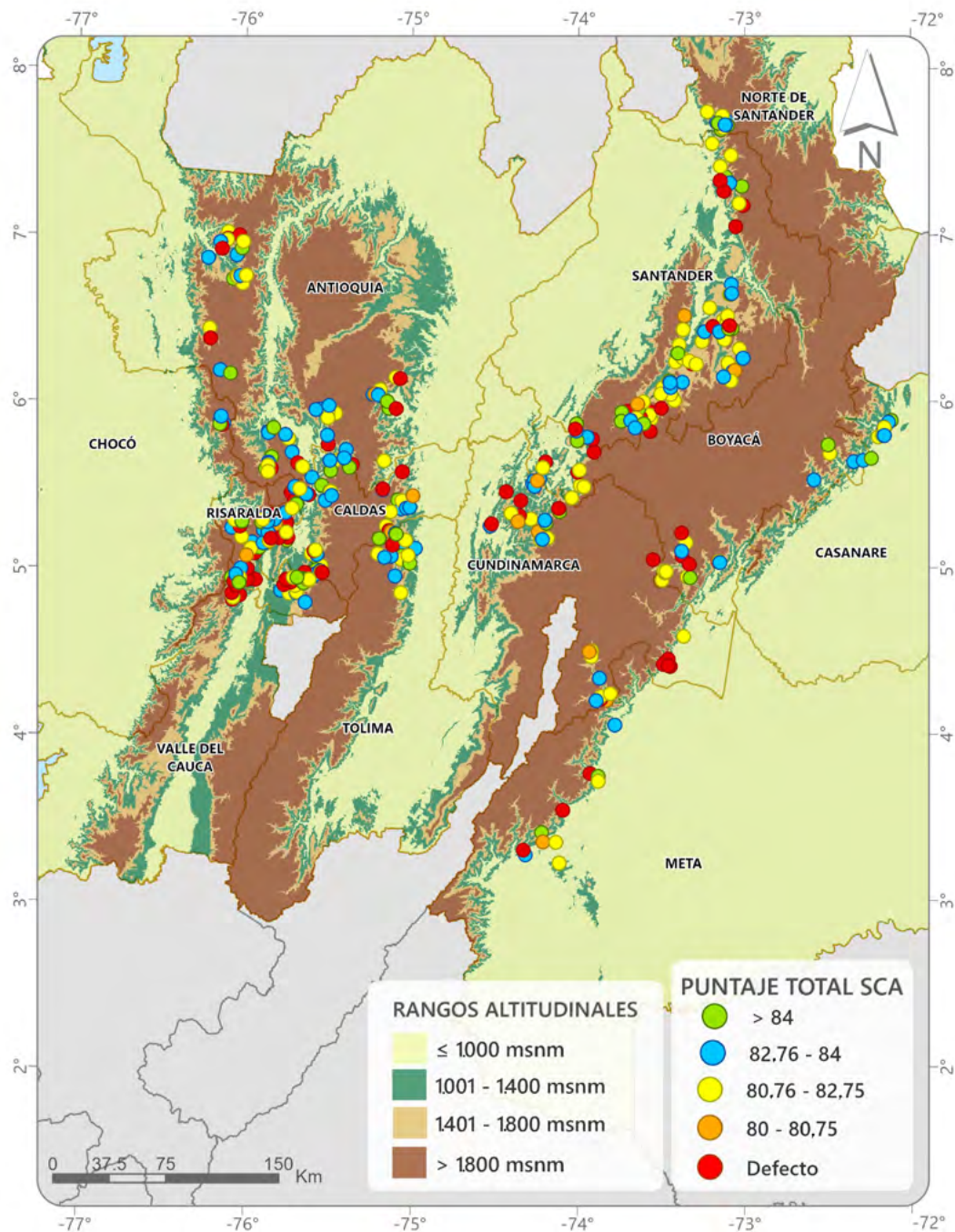


Figura 10. Puntaje total SCA de las muestras recibidas por rango altitudinal.

incluyendo las mezclas con el arábica nacional, evidenció una separación definida y clara de las clases por origen (Figura 11). El grupo del arábico colombiano puro formó una clase diferenciada, mientras que las muestras compuestas (mezclas) de Brasil y Perú se agruparon de manera particular, demostrando un claro desplazamiento en el espacio de componentes. Los tres primeros componentes principales explicaron el 99% de la variabilidad total de las muestras. Esta diferenciación valida la capacidad del NIRS para identificar patrones espectrales asociados al origen

geográfico, que se conserva incluso después del proceso de tueste. El ACP aplicado al café tostado entero también evidenció una separación definida y consistente entre las clases de origen, confirmando que las huellas espectrales que codifican el origen se mantienen a pesar de las transformaciones químicas inducidas por el tueste. Similar al café verde, los tres primeros componentes principales explicaron el 97% de la variabilidad total, lo que subraya la robustez del método para discriminar la procedencia en matrices tostadas.

Evaluación de la técnica NIRS para la identificación de mezclas de café colombiano con la especie *Coffea canephora* proveniente de diferentes países. CAL101010

Esta investigación está relacionada con la caracterización espectral de *C. canephora* proveniente de otros países, con el objetivo de establecer el alcance de la técnica NIRS para desarrollar modelos de predicción que permitan identificar las mezclas de café con respecto a la especie. Se avanzó con la caracterización espectral de 1.361 muestras de *C. canephora* provenientes de Brasil, Vietnam y Perú. Se realizaron los análisis NIRS al café almendra verde, café tostado entero y tostado molido, en las proporciones establecidas para un total del 3.689 análisis. El análisis espectral de las muestras puras de *C. canephora* demostró la existencia de diferencias en la absorbancia media entre los distintos orígenes geográficos. Estas diferencias se manifestaron prominentemente en las longitudes de onda de 1.460 nm y 1.930 nm, las cuales están fundamentalmente asociadas a las bandas de vibración de grupos funcionales O-H y combinaciones O-H/N-H, indicativos de compuestos como carbohidratos y alcaloides. Los resultados mostraron que el *C. canephora* de Colombia registró consistentemente los mayores valores de absorbancia media en ambos puntos espectrales (0,93 en 1.460 nm y 1,19 en 1.930 nm), seguido por Perú, Vietnam y Brasil. Este comportamiento espectral confirma que el origen geográfico influye significativamente en la huella química de la especie. La aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) a las tres matrices de café evaluadas (almendra verde, tostado entero y tostado molido) validó la discriminación. En todas las matrices se observó una clara y consistente separación por origen y por mezclas. En la almendra verde, los tres primeros componentes principales explicaron el 98% de la variabilidad total,

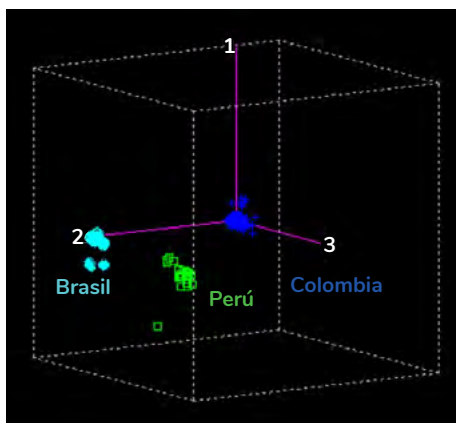


Figura 11. Análisis de componentes principales de café especies *C. arabica* origen Colombia, Brasil y Perú.

logrando agrupamientos definidos y una diferenciación entre los cafés colombianos, peruanos, brasileños y vietnamitas (Figura 12). Para el café tostado entero, a pesar de las transformaciones térmicas, se mantuvo la separación entre orígenes con una varianza explicada del 95%, en el café tostado molido, la variabilidad explicada fue nuevamente alta, alcanzando el 98%.

Evaluación del efecto de frutos pintones en la calidad del café. CAL102004

El proyecto de investigación está evaluando el efecto de la presencia de frutos pintones en el procesamiento del café, analizando su impacto en la calidad sensorial y física. La mezcla de frutos pintones (del 5% al 40%) en el procesamiento de café maduro incrementó significativamente la incidencia del defecto inmaduro, caracterizado por perfiles sensoriales con fragancia y aroma a cereal, sabor residual astringente y notas herbáceas. El café 100% maduro (100M) y la mezcla 95% maduro con 5% pintón (95M5P) se clasificaron como café de especialidad, con puntajes SCA superiores a 80, mientras que porcentajes más altos de pintones resultaron en una pérdida de calidad sensorial de las muestras (Figura 13). Al aumentar el porcentaje de pintones, la calidad disminuyó drásticamente, con el 75% de las muestras exhibiendo puntajes totales SCA inferiores a 60 puntos. A nivel de procesamiento, los frutos pintones mostraron una mayor ineficiencia en el despulpado, resultando en mayores porcentajes de pulpa en el café y daño mecánico en el grano, lo que compromete la calidad física y sensorial del café. El tratamiento 100M presentó un 97,51% de rendimiento de pulpa, mientras que el 100% pintón (100P) solo alcanzó el 92,37%, además este último tratamiento presentó un mayor porcentaje de frutos sin despulpar y con daño mecánico. El tratamiento 100M mostró un 98,55% de granos sanos, mientras que el 100P solo alcanzó el 89,01%, lo que subraya que la madurez del fruto es crucial para la eficiencia del procesamiento y la calidad física

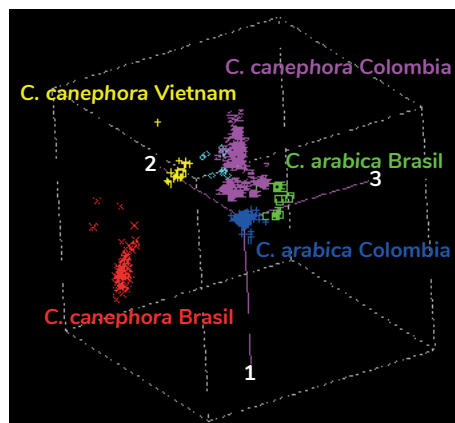


Figura 12. Análisis de componentes principales en café almendra de *C. canephora* y *C. arabica* por origen.

del café (Tabla 9). Dentro del grupo de los ácidos orgánicos alifáticos en ambos grupos de muestras (sin defecto sensorial e inmaduro) los mayoritarios fueron cítrico, quínico y málico. La sacarosa presentó mayor concentración en las muestras sin defecto al ser comparadas con las muestras con defecto inmaduro, este mismo comportamiento para los lípidos, ácidos clorogénicos totales y el isómero 5-CQA. El ácido tartárico presentó mayor valor en las muestras con defecto inmaduro que las muestras sin defecto sensorial con valores de 0,44 y 0,20, respectivamente.

Evaluación del efecto de los procesos de secado en la calidad del café honey. CAL102005

Se evalúa el efecto del secado (solar, mecánico y combinado), en el procesamiento vía semi-seca, en la calidad del café honey. De dos unidades experimentales se analizaron los tiempos de secado, la eficiencia del proceso y las variaciones de color del pergamino y la almendra. Los avances indican que el secado mecánico es significativamente más eficiente en términos de tiempo, con un promedio de 120 horas, mientras el secado solar puede extenderse hasta 240 horas, bajo las siguientes condiciones operativas: humedad relativa de 59,7% y 40,7% y temperaturas de 29,1°C y 36,3°C para el secado solar y para el secado mecánico, la temperatura del aire promedió valores de 39,5°C y 38,5°C (Tabla 10). El secado combinado (solar/mecánico) alcanzó una reducción inicial de humedad al 30% en 96 horas de manera consistente para diferentes contenidos de mucílago del grano (0%, 50% y 100%). La colorimetría del pergamino, según la escala CIEL*a*b*, mostró diferencias entre los tratamientos. El café honey procesado con

secado mecánico y aquellos con mayor contenido de mucílago exhibieron un pergamino más oscuro, posiblemente asociado a las mayores temperaturas durante este proceso, que favorecen la caramelización de los azúcares del mucílago (Tabla 11). El café lavado (testigo) y el pergamino de los cafés honey con secado solar presentaron una mayor luminosidad. El color de la almendra verde mostró una menor variación entre los tratamientos, lo que sugiere que las condiciones de secado afectan principalmente el pergamino, sin impactar la composición del grano. El valor promedio de las variables de merma, pasilla y almendra sana presentaron los óptimos en el café lavado con valores de 17,00%, 2,15% y 79,63%, en comparación con los tratamientos asociados al café honey que presentaron valores de 22,72%, 4,34% y 72,68%, respectivamente. De las muestras evaluadas (20) no se presentaron defectos sensoriales y los mayores promedios de las variables sensoriales fragancia/aroma, sabor y puntaje total SCA se observaron en el tratamiento con 50% de mucílago y secado 100% solar, con valores de 7,94, 7,85 y 84,54, respectivamente.

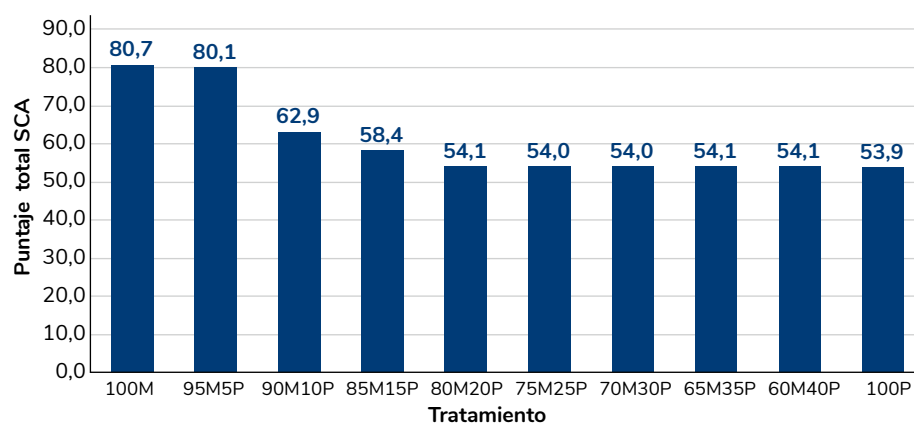


Figura 13. Puntaje total SCA para tratamientos con relaciones de mezclas de café maduro (M) y pintón (P).

Tabla 9. Caracterización del café despulpado a partir de tratamientos con mezclas de café maduro (M) y pintón (P).

Tratamientos	Promedio frutos en despulpado (%)	Promedio frutos con daño mecánico (%)	Promedio de pulpa en despulpado (%)	Promedio de despulpado sano (%)
100P	4,69	1,22	1,12	89,01
60M40P	2,14	0,60	0,79	90,98
65M35P	1,86	0,55	0,66	90,98
70M30P	1,81	0,67	0,59	92,12
75M25P	1,44	0,77	0,60	94,01
80M20P	1,52	0,59	0,58	96,89
85M15P	0,94	0,68	0,61	97,07
90M10P	0,85	0,70	0,70	97,35
95M5P	0,62	0,46	0,46	98,19
100M	0,28	0,37	0,36	98,55

Caracterización de los compuestos químicos de las progenies que conforman las variedades mejoradas de Cenicafé en diferentes condiciones ambientales. CAL104014

Los compuestos químicos presentes en las variedades mejoradas de Cenicafé se sitúan dentro de los valores promedio reportados para *Coffea arabica* L. Investigaciones previas han evidenciado amplios rangos de concentración en algunos compuestos químicos, esta variación en la composición química podría estar asociada a las progenies que conforman las variedades o al entorno donde se desarrollan los cultivos generando una diferenciación de la variedad. Se presenta un avance de resultados correspondiente a la caracterización de las 40 progenies que hacen parte de la variedad Castillo 2.0 en sus tres componentes de calidad: física, química y sensorial. A la fecha, se han realizado dos muestreos procedentes de una cosecha (2024) de la Estación Experimental Naranjal y procesadas por vía húmeda. En la caracterización de la calidad física por progenie, el análisis granulométrico evidenció que el 51% de las 40 progenies que conforman la variedad, fueron retenidas sobre la malla 17 y 18, clasificando su calidad como granos supremos. En cuanto a la calidad sensorial, el 30% de las progenies obtuvieron puntaje total SCA por encima de los 83 puntos, destacándose la progenie 232#333 con un puntaje superior a 87 puntos. Referente a la composición química se presenta el avance de los contenidos para las progenies (12 progenies) que obtuvieron puntaje superior a 83 puntos SCA (Tabla 12), se observaron amplios rangos de concentración en los contenidos de sacarosa (6,71%-12,03%) y ácido acético (1,12–5,54 g kg⁻¹).

Evaluación de la calidad sensorial y composición química del café obtenido por mezclas de café despulpado en diferentes días de procesamiento. CAL105004

Durante el proceso de beneficio por vía húmeda, una práctica comúnmente realizada es la mezcla del café despulpado de diferentes días de recolección. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto en la calidad física, sensorial y composición química del café obtenido por realizar dicha práctica. Se aplicó un diseño experimental de cuatro tiempos de mezcla de lotes de café despulpado, dos (MD2), tres (MD3), cuatro (MD4) y cinco (MD5) días, con testigos control de café lavado diariamente y un tratamiento de mezcla de lotes de café de cinco días bajo agua con cambio diario (MD5+agua). Se realizaron seis repeticiones durante la cosecha 2022, 2023 y 2024. Los testigos diarios, no presentaron

Tabla 10. Tiempos de secado de los diferentes tratamientos de secado de café honey.

Tratamiento	Tiempo (horas) Unidad experimental 1	Tiempo (horas) Unidad experimental 2
Testigo LV	72	96
0Mg/Mc	144	120
0Mg/So/Mc	168	168
0Mg/So	192	216
50Mg/Mc	144	120
50Mg/So/Mc	192	192
50Mg/So	240	216
100Mg/Mc	144	120
100Mg/So/Mc	192	192
100Mg/So	240	216

LV: Lavado; 0Mg/Mc: 0% mucílago-secado mecánico; 0Mg/So/Mc: 0% mucílago-secado combinado; 0Mg/So: 0% mucílago-secado solar; 50Mg/Mc: 50% mucílago-secado mecánico; 50Mg/So/Mc: 50% mucílago-secado combinado; 50Mg/So: 50% mucílago-secado solar; 100Mg/Mc: 100% mucílago-secado mecánico; 100Mg/So/Mc: 100% mucílago-secado combinado; 100Mg/So: 100% mucílago-secado solar.

Tabla 11. Colorimetría del pergamino de los tratamientos de secado de café honey.

Tratamiento	Prom L*	Prom a*	Prom b*	Color
Testigo LV	99,12	-3,39	27,58	
0Mg/Mc	70,17	6,85	27,88	
0Mg/So/Mc	75,54	5,33	31,88	
0Mg/So	78,12	4,29	31,34	
50Mg/Mc	65,27	9,25	18,72	
50Mg/So/Mc	68,22	9,61	24,52	
50Mg/So	70,43	8,79	26,02	
100Mg/Mc	65,88	9,51	18,88	
100Mg/So/Mc	69,43	9,76	26,22	
100Mg/So	70,15	9,76	23,19	

LV: Lavado; 0Mg/Mc: 0% mucílago-secado mecánico; 0Mg/So/Mc: 0% mucílago-secado combinado; 0Mg/So: 0% mucílago-secado solar; 50Mg/Mc: 50% mucílago-secado mecánico; 50Mg/So/Mc: 50% mucílago-secado combinado; 50Mg/So: 50% mucílago-secado solar; 100Mg/Mc: 100% mucílago-secado mecánico; 100Mg/So/Mc: 100% mucílago-secado combinado; 100Mg/So: 100% mucílago-secado solar.

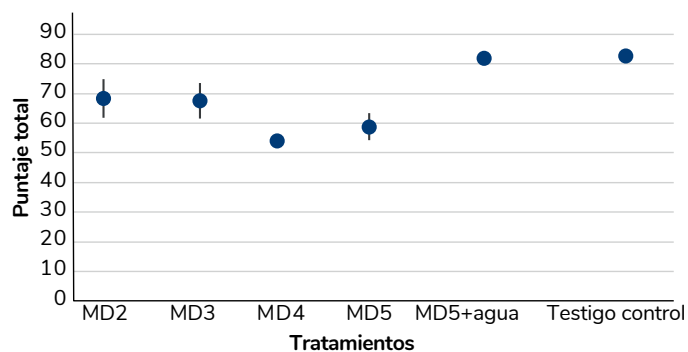
Tabla 12. Progenies con puntajes superiores a 83 puntos SCA.

Progenies	Puntaje SCA	Descriptorios de sabor
232#333	87,1	Eucalipto, limoncillo, toronja, chocolate, menta, cardamomo, mandarina, frutos rojos.
CX2080	84,8	Espicias, floral, jazmín, limoncillo, naranja.
665#513	84,3	Chocolate, frutos amarillos, durazno, floral, limoncillo.
CU1871	84,3	Chocolate, dulce, mandarina, avellana, especias, floral, miel, frambuesa.
CU1852	83,9	Cardamomo, chocolate, frutos amarillos, naranja, floral, caramelo, arándano.
CX2065	83,7	Cloral, miel de rosas, chocolate, caña de azúcar, limoncillo, almendra.
665#76	83,5	Floral, chocolate, avellana, chocolate.
CU1819	83,4	Cardamomo, chocolate, eucalipto.
667#615	83,4	Limoncillo, frutal, almendra, limón.
CU1843	83,2	Dulce
CU2034	83,2	Miel
CU1993	83,1	Chocolate

Tabla 13. Proporción de muestras sin defecto y defectos sensoriales presentes por cada tratamiento.

Tratamientos	Sin defecto	Fermento	Pulpa
Testigo control	100,0%	-	-
MD5+agua	100,0%	-	-
MD2	50,0%	50,0%	-
MD3	50,0%	50,0%	-
MD4	-	75,0%	25,0%
MD5	-	100,0%	-

defecto sensorial (Tabla 13). Se determinó que después de dos días de almacenamiento, el 50% de las muestras presentaron defecto sensorial (Figura 14), indicando el riesgo sobre la calidad que esta práctica presenta. Sin embargo, la práctica de cambiar diariamente el agua en la que se mezcla el café, evita la generación de defectos sensoriales y no afecta la calidad del grano. En cuanto a la composición química del café, se determinaron los ácidos orgánicos, azúcares del café y del mucílago, por medio de química analítica y empleando la técnica NIRS, se determinaron 13 compuestos químicos del café. Los ácidos mayoritarios fueron el ácido cítrico, quínico y málico con valores promedio de 9,87 g kg⁻¹, 5,405 g kg⁻¹ y 4,78 g kg⁻¹ para el testigo control, respectivamente. Se observó que el ácido cítrico, presentó valores de 9,18 g kg⁻¹, 9,82 g kg⁻¹ y 9,87 g kg⁻¹ para MD5, MD5+agua y para el testigo control, respectivamente; y de 9,93 g kg⁻¹, 9,98

**Figura 14.** Valores promedio de puntaje total por cada tratamiento.

g kg⁻¹ y 10,02 g kg⁻¹ para los tratamientos MD2, MD3 y MD4. En menores proporciones se encontraron los ácidos láctico, tartárico y succínico, con valores de 0,253 g kg⁻¹, 0,197 g kg⁻¹ y 2,987 g kg⁻¹, respectivamente.

Panel de catación de Cenicafé. CAL106004

El panel de catación de Cenicafé está conformado por seis catadoras, certificadas como Q-Grader por el CQI (*Coffee Quality Institute*). Desde el 2017 se han analizado sensorialmente 12.244 muestras de café provenientes de proyectos de investigación. Cada resultado corresponde al promedio de la evaluación de mínimo tres catadores. Para esta vigencia, las seis catadoras presentaron y aprobaron los exámenes de certificación en la nueva metodología propuesta por la SCA (*Specialty Coffee*

Assoriation) asociada al reconocimiento del valor del café mediante el CVA (*Coffee Value Assessment*). Esta incluye la valoración física, la información extrínseca de las muestras, así como la valoración sensorial descriptiva del café. Este curso fue liderado por las áreas de calidad de Cenicafé y Almacafé, contó con la presencia de 24 catadores de la cadena productiva de café, incluyendo responsables de calidad de centros logísticos, de programa de cafés especiales y calidad de diferentes Comités Departamentales de Cafeteros y de la Gerencia Comercial de FNC. El instructor fue el Dr. Mario Roberto Fernández Alduenda, director técnico de la SCA. Con este certificado, las analistas sensoriales, adicionalmente, lograron el certificado Q-Evolved otorgado por la misma entidad. Durante este período se han recibido 1.443 muestras de café, provenientes

de proyectos de diferentes disciplinas de Calidad y Mejoramiento Genético (Tabla 14).

La proporción de muestras sin defecto fue de 61,9%, los defectos que se han presentado con mayor proporción fueron el oxidado (26,9%), terroso (5,7%), inmaduro (2,4%), fermento (2,2%) y en menores proporciones el reposo, fenol y contaminado, con el 0,6%, 0,2% y el 0,1%, respectivamente. Los rangos de puntaje total que presentaron un aumento estuvieron en aquellos comprendidos entre 82,75 a 83,74 puntos, que subieron del 7,6% al 20,3% y para el puntaje mayor a 84 incrementó del 7,2% al 12,9% (Figura 15). Se continuó el uso del software desarrollado por TIC's con el apoyo de la disciplina de Calidad vinculado al SIGA, que permite la conexión entre las investigaciones y las solicitudes de análisis de calidad de café.

Tabla 14. Cantidad de muestras de café recibidas en el laboratorio para análisis sensorial.

Disciplina	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023	2023-2024	2024-2025	Total
Calidad	366	142	662	562	318	1.720	881	722	1.069	6.442
Entomología		10	85	136	199	16	7	-	-	453
Experimentación	10	12	18	18	-	-	-	-	-	58
Fisiología	3	2	-	186	30	-	-	-	-	221
Patología	-	-	48	-	-	-	-	90	-	138
Fitotecnia	-	48	20	-	-	9	45	-	-	122
Mejoramiento Genético	181	564	250	631	557	169	146	200	374	3.072
Poscosecha	9	45	178	293	148	178	148	78	-	1.077
Suelos	108	115	121	61	18	11		-	-	434
Total	677	938	1.382	1.887	1.270	2.103	1.227	1.090	1.443	12.244

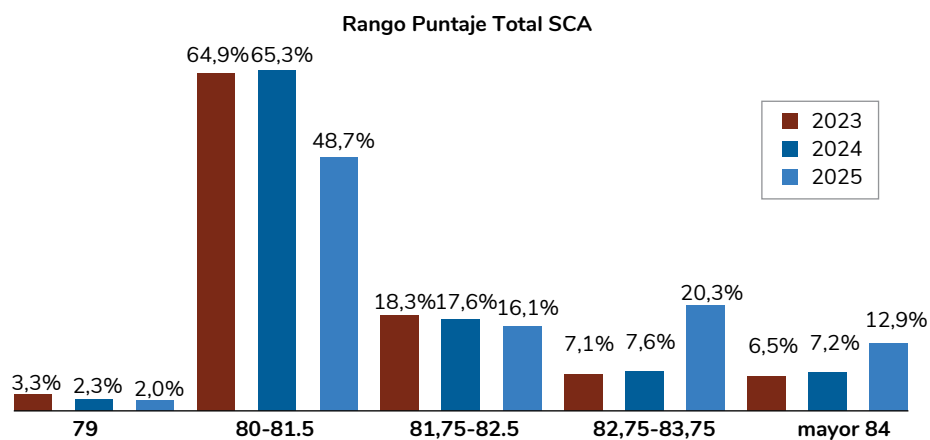


Figura 15. Proporción de muestras según el rango de puntaje total de muestras evaluadas por el panel de catación de Cenicafé.

Determinación del tiempo de conservación de la calidad del café tostado almacenado en diferentes condiciones y tipos de empaques. CAL106005

Con el objetivo de determinar el tiempo de conservación de la calidad sensorial, física y química del café, se almacenó café tostado en grano (TE) y café molido (TM) en los siguientes empaques: papel kraft (PK), polietileno alta densidad (PETHD), polietileno con aluminio (ALP), vidrio transparente (VT) y polietileno baja densidad (PELD) (Figura 16). Las evaluaciones se realizaron en tres condiciones de la zona cafetera Central (Estación Experimental Naranjal, Cenicafé, Laboratorio de Calidad Comité de Cafeteros de Caldas). Durante 365 días se evaluó la calidad sensorial (puntaje SCA), el color del grano y la concentración de los ácidos grasos y ácidos clorogénicos totales. La humedad relativa fue similar y constante en todas las localidades del estudio. La temperatura fue inferior en el Laboratorio de Caldas (18,63°C) y preservó la calidad sensorial del TE (SCA 80,29 puntos) dispuesto en los empaques ALP, PELD y VT, hasta 180 días de almacenamiento y hasta

los 90 días en PETHD y PK (Tabla 15). El puntaje total SCA del TM se redujo significativamente a partir de los 90 días de almacenamiento, como consecuencia del defecto oxidado, en todas las localidades y empaques (Tabla 16). En las localidades evaluadas y en ALP, PELD y VT, la concentración de los ácidos linoleico, palmítico, clorogénicos, así como las coordenadas de color, se mantuvieron constantes para el café TE hasta 180 días, mientras que, en TM los promedios tendieron a variar a partir del día 90. Los resultados indican que una mayor área de superficie expuesta en TM, puede explicar la susceptibilidad del café a los factores ambientales que afectan su calidad durante el almacenamiento. En las variables de composición química, en todas las localidades se presentó un ligero incremento en la concentración de lípidos, particularmente en los empaques PK y VT se presentaron mayores valores, independiente de la localidad y tipo de café. En el café TM, todos los parámetros tendieron a variar más rápido desde los 90 días, se encontraron valores máximos alcanzando niveles cercanos al límite regulatorio de 15 meq kg⁻¹ en PK en Naranjal a los 365 días con un valor promedio de 13,69 meq kg⁻¹, indicador de procesos oxidativos.



Figura 16. Representación esquemática de los empaques: a. papel Kraft (PK), b. polietileno trilaminado de alta densidad EVOH reciclable (PETHD), c. polietileno con aluminio (ALP), d. vidrio transparente (VT) y e. polietileno baja densidad (PELD).

Tabla 15. Puntaje promedio SCA, por efecto del empaque y comparaciones de tiempo de almacenamiento en el Laboratorio del Comité de Caldas.

Tipo de café	Comparaciones	Tiempo	Tipo de empaque									
			ALP		PELD		PETHD		PK		VT	
			SCA	SD	SCA	SD	SCA	SD	SCA	SD	SCA	SD
Tostado entero TE	0 vs 90	0	82,53 Aa	0,27	82,53 Aa	0,27	82,53 Aa	0,27	82,53 Aa	0,27	82,53 Aa	0,27
		90	80,27 A	0,28	80,20 A	0,24	81,18 A	0,34	81,02 A	0,44	80,78 A	0,72
	90 vs 180	90	80,27Aa	0,28	80,20 Aa	0,24	81,18 Aa	0,34	81,02 Aa	0,44	80,78 Aa	0,72
		180	80,37 A	0,42	80,27 A	0,35	53,31 B	0,41	58,86 B	11,82	80,22 A	0,21
	180 vs 270	180	80,37 Aa	0,42	80,27 Aa	0,35	53,31 Ab	0,41	58,86 Ab	11,82	80,22 Aa	0,21
		270	53,10 B	0,06	53,07 B	0,09	53,07 A	0,09	53,10 A	0,09	53,08 B	0,08
	270 vs 365	270	53,10 Aa	0,06	53,07 Aa	0,09	53,07 Aa	0,09	53,10 Aa	0,09	53,08 Aa	0,08
		365	53,00 A	0,00	53,00 A	0,00	53,00 A	0,00	53,00 A	0,00	53,00 A	0,00

Para cada empaque letras no comunes mayúsculas indican diferencias significativas entre tiempos según prueba de Tukey al 5%.

Para tiempo letras no comunes minúsculas indican diferencias significativas entre empaques según prueba de Tukey al 5%

Papel Kraft (PK), polietileno trilaminado de alta densidad EVOH reciclable (PETHD), polietileno con aluminio (ALP), vidrio transparente (VT) y polietileno baja densidad (PELD).

Tabla 16. Efecto del tiempo y su interacción en el puntaje total SCA del café (TM) por localidad.

Localidad	Tipo de café	Tiempo (días)	SCA	SD
Estación Experimental Naranjal	Tostado molido (TM)	0	82,53 A	0,25
		90	54,04 B	5,42
		180	53,08 B	0,21
		270	53,13 B	0,17
		365	53,00 B	0,00
Cenicafé	Tostado molido (TM)	0	82,53 A	0,25
		90	52,99 B	0,23
		180	53,07 B	0,11
		270	53,14 B	0,11
		365	53,00 B	0,00
Laboratorio del Comité de Caldas	Tostado molido (TM)	0	82,53 A	0,25
		90	53,08 B	0,14
		180	53,24 B	0,26
		270	53,16 B	0,10
		365	53,00 B	0,00

Para cada sitio y tipo de café letras no comunes indican diferencias estadísticas entre tiempos según prueba de Tukey al 5%

Economía Agrícola



Valoración Económica de Servicios Ambientales por Captura de CO₂ en la Reserva Forestal Planalto. ECO104008

La valoración económica del servicio ecosistémico de captura de CO₂ en la Reserva Forestal Protectora Planalto en Caldas, establece que los bosques tropicales son sumideros de carbono vitales, y la cuantificación precisa de su potencial de secuestro es indispensable para acceder a mecanismos de financiamiento climático, como mercados de carbono y esquemas de Pagos por Servicios Ambientales. El objetivo fue analizar cómo la elección de diferentes ecuaciones alométricas impacta la valoración económica del carbono almacenado y, por ende, la viabilidad financiera de las estrategias de conservación. Las ecuaciones alométricas son modelos matemáticos no destructivos que estiman la biomasa total de un árbol (y el carbono) a partir de variables de campo (diámetro, altura, densidad de la madera). Para el estudio en la Reserva Planalto, se evaluaron cuatro metodologías reconocidas para ecosistemas tropicales: modelo polinómico específico para bosques naturales en Colombia, utilizando transformaciones logarítmicas de variables clave; modelo exponencial de estándar global, aplicable a bosques tropicales a nivel general; modelo cuadrático que integra variables como el Diámetro a Altura del Pecho (DAP) y la densidad de la madera; modelo multiplicativo que integra DAP y altura total, diseñado para bosques con alta variabilidad estructural. El estudio aplicó modelos econométricos robustos (Probit y Logit) para evaluar la precisión y el sesgo de cada ecuación, comparándolas con una medida de referencia compuesta. Este análisis fue crucial para determinar el modelo con el mejor ajuste estadístico y el menor riesgo de error, dado que una estimación incorrecta puede invalidar la viabilidad financiera de un proyecto. El resultado estadístico demostró que la metodología de Chave ofrece el mejor ajuste y la mayor precisión para las condiciones del bosque andino estudiado, minimizando la probabilidad de error en la estimación final del carbono. Al usar el modelo de Chave, se obtuvieron los siguientes resultados para la Reserva Planalto: Carbono Capturado: 274,90 t ha⁻¹ de CO₂; valoración en el mercado de carbono de Colombia: USD \$1.825,32 por hectárea y valoración en el mercado internacional (RGGI): USD \$5.599,67 por hectárea. Al comparar estos valores con los ingresos generados por la ganadería sostenible, estimados en USD \$656 por hectárea al año, se evidenció que la conservación del bosque es 2,8 veces más rentable que la ganadería si se valora en el mercado nacional

de carbono, y hasta 8,5 veces más rentable si se accede al mercado internacional (RGGI).

Estimación de pérdidas económicas en el proceso de beneficio de café. ECO102008

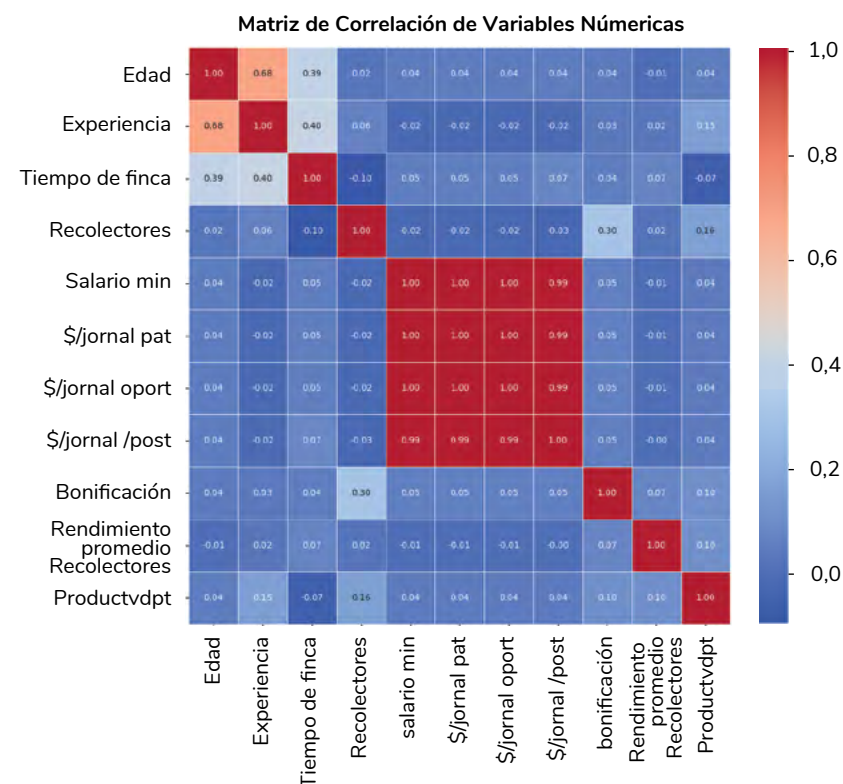
Este estudio evaluó las prácticas que generan mayores pérdidas físicas y económicas durante el beneficio, enfocándose en dos aspectos: 1) el efecto de la clasificación del café sobre la calidad física y las pérdidas en el proceso de beneficio, y 2) el efecto del mantenimiento, limpieza y calibración de la despulpadora. Los resultados revelan que un proceso técnico estandarizado reduce la cantidad de café pergamino necesaria para obtener un saco de 70 kg de café excelso, y que la recuperación de pasillas puede aumentar los ingresos hasta en un 8,8%. Por otro lado, la falta de calibración de equipos puede ocasionar pérdidas de hasta un 73,86% de la producción. La falta de mantenimiento y calibración de la despulpadora se identificó como una de las prácticas que genera las pérdidas económicas más significativas en el proceso de beneficio. En el tratamiento sin mantenimiento, las pérdidas oscilaron entre un 3,16% y un 73,83%, mientras que, en el tratamiento con mantenimiento del equipo, se observó un funcionamiento estable y eficiente. En el tratamiento sin calibración, la pulpa contenía en promedio 26,55% de granos en buen estado, un valor que supera ampliamente el 0% exigido por la NTC 2090. Esta pérdida de grano de buena calidad se tradujo en una pérdida física del 30,93% y una disminución promedio en los ingresos del 40,56% en comparación con el proceso calibrado 25. La variación en las pérdidas en equipos sin calibración, osciló entre un 3,16%

y un 73,83% de reducción en los ingresos por unidad experimental. El tratamiento con calibración adecuada de la despulpadora presentó una Relación B/C de 10,76, mientras que el tratamiento sin calibración alcanzó una relación B/C de 7,0627. Esta diferencia representa un incremento del 52,3% en la rentabilidad a favor de la práctica de mantenimiento preventivo, lo que demuestra que esta práctica mejora significativamente la rentabilidad al reducir las pérdidas por defectos, con un costo mínimo. Se proyecta que un caficultor, con una pérdida del 40,56% (observada en el estudio), dejaría de percibir aproximadamente \$9.580.841,80 por hectárea al año. Los resultados demuestran que la adopción de prácticas estandarizadas durante el proceso de beneficio del café (7P), tiene un impacto positivo y significativo tanto en la calidad del producto como en la rentabilidad económica del caficultor. El Proceso 7P de Cenicafe, implementado de manera estandarizada, constituye una estrategia técnica y económica rentable (B/C de 10,82), maximizando los ingresos con inversiones mínimas adicionales.

Estudios de las funciones del patrón de corte en la cosecha de café. ECO103002

Con el propósito de aportar información para conocer las funciones del patrón de corte o supervisor en la recolección de café y apoyar la toma de decisiones de los caficultores en la administración y control de la

cosecha, se aplicó una encuesta por parte del Servicio de Extensión a los trabajadores que desempeñan ese rol en los departamentos cafeteros con fincas de área mayor a cinco hectáreas en café. El instrumento para recopilar la información consideró aspectos socioeconómicos de los trabajadores (región de origen, edad, género, estado civil, escolaridad, oficio en el origen, probabilidad de empleo en el origen, salarios nominales en el origen) y aspectos propios de las funciones que desempeña durante la cosecha de café. Otros aspectos considerados en el instrumento serán las características de las fincas. Se aplicaron técnicas como el Análisis de Componentes Principales (PCA) y el Análisis de Clústeres para identificar las dimensiones subyacentes de los datos y segmentar a los patrones de corte en perfiles distintos. Los hallazgos confirman que la productividad está estrechamente ligada a factores específicos que van más allá de una simple correlación. El análisis se realizó sobre un conjunto de 1.027 encuestas y 26 variables. El conjunto de datos incluye variables numéricas (como edad, experiencia y rendimiento promedio recolectores) y variables categóricas clave (como zona, género y condición de caficultor). Se utilizaron gráficos de dispersión y un mapa de calor para explorar las relaciones entre las variables (Figura 17). No se encontró una correlación lineal fuerte entre los salarios por jornada y el rendimiento. Sin embargo, se observa una relación más clara entre las bonificaciones y un mayor rendimiento, lo que sugiere que las bonificaciones son un incentivo directo a la productividad.



El mapa de calor de correlación confirmó hallazgos clave. Las variables de jornal (\$/jornal pat, \$/jornal oport, \$/jornal/post, salario min) están altamente intercorrelacionadas entre sí, pero muestran una relación lineal muy baja con el rendimiento promedio recolectores. Esto subraya la naturaleza multivariada de los factores que influyen en el rendimiento. Por otro lado, edad y experiencia presentan una fuerte correlación positiva.

Figura 17. Matriz de correlación de variables numéricas.

Entomología



El informe anual de la Disciplina de Entomología presenta avances relevantes en el estudio y manejo de plagas y organismos benéficos en la caficultura colombiana. Se reporta por primera vez la muerte de cafetos relacionada con la cochinilla de la raíz *Puto barberi* asociada a la hormiga invasora *Linepithema neotropicum*, identificando su impacto desde almácigo hasta etapa productiva, proponiendo umbrales de acción y alternativas de control no químico. También se documenta la biología del barrenador del tallo y raíz del café *Plagiohammus colombiensis*, registrando sus enemigos naturales y posibles parasitoides, lo que abre opciones para control biológico. Se avanzó en la investigación sobre la mosca soldado negra *Hermetia illucens* como biotecnología para la valorización de residuos de café, con resultados promisorios en la producción de proteína y biofertilizantes, aportando a la economía circular. En cuanto a la arañita roja *Oligonychus yothersi*, se demostró que ciertos insecticidas inducen hormoligosis, mientras que otros reducen significativamente su tasa de reproducción. La colección de hongos entomopatógenos de Cenicafe conserva 320 cepas, destacando *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*. Además, se reportó la primera epizootia de *Acharia intensa* asociada al hongo *Cordyceps farinosa*, con potencial para control natural. Respecto a la broca del café *Hypothenemus hampei*, se optimizó la cría y liberación de los parasitoides africanos *Prorops nasuta* y *Phymastichus coffea*, consolidándolos como herramientas clave de control biológico. Así mismo, se validó el manejo sin insecticidas químicos, logrando mantener las infestaciones por debajo del nivel económico de daño mediante el uso de prácticas de control cultural y biológico. Finalmente, se desarrollaron modelos digitales y trampas automatizadas para mejorar el monitoreo de broca, alineados con la agricultura 4.0. Estos avances refuerzan la integración de biocontrol, manejo sostenible y herramientas tecnológicas para una caficultura más resiliente y competitiva.

Actividad de colección e identificación de artrópodos plaga y benéficos de la zona cafetera. ENT101012

Se reporta por primera vez la muerte de árboles de café (Figura 18) causada por la cochinilla de la raíz *Puto barberi* en la vereda La Paloma, Manzanares (Caldas), asociada con la hormiga de hábitos invasores *Linepithema neotropicum* (Figura 19). Este complejo constituye una limitante fitosanitaria en café, desde la fase de almácigo hasta la etapa productiva, al necrosar raíces, afectar el crecimiento y, en casos severos, provocar la muerte de los árboles. La

interacción observada corresponde a un comensalismo, dado que las hormigas protegen a las cochinillas de sus enemigos naturales y facilitan su transporte y dispersión, lo que agrava el daño en el cultivo. Las hormigas poseen alimentación suficiente de varias fuentes, diferentes a la miel de rocío de las cochinillas. Se están evaluando cebos con diferentes insecticidas de síntesis química, así como cal viva, con resultados promisorios.

Se estudia la biología, dinámica poblacional y enemigos naturales del barrenador del tallo y raíz del café *Plagiohammus colombiensis* en el municipio La Gloria, Cesar, Serranía del Perijá. En junio de 2025 se seleccionaron dos lotes infestados: 1. Finca La Estrella, a libre exposición solar con 1.000 árboles de 1,5 años, de los cuales 35 presentaron daño; y 2. Finca Santa Bárbara, bajo sombrío tradicional, con 1.000 árboles en zoca de cuatro años, donde 112 resultaron afectados. Los árboles infestados se georreferenciaron y 30 fueron llevados al laboratorio, donde los tallos se dispusieron en cámaras de cría. Se realizaron disecciones y se observó que las larvas correspondieron al segundo estadio, de $1,5 \pm 0,7$ cm de longitud y 3,0 mm de ancho. Estas barrenaron la médula central, produciendo galerías de 5,0 mm de grosor y 20-40 cm de longitud, que se extendieron hasta el cuello de la raíz y raíces secundarias. El aserrín generado es evacuado a través del orificio de entrada. Se registran los primeros enemigos naturales (Figura 20) dentro de los tallos: un adulto muerto de *P. colombiensis* con un hongo no identificado, una larva de Elateridae, posible depredador, una pupa de una posible mosca Tachinidae parasitando estados del barrenador y un hongo posible *Metarhizium* sp. parasitando larvas del insecto. A los tres meses, las larvas alcanzaron 3,4 cm de largo y 4,0 mm de ancho, más



Figura 18. Árboles de café de 8,2 años, muertos, infestados con cochinillas de la raíz *Puto barberi*. Finca en la vereda La Paloma, Manzanares, Caldas.

del doble del tamaño inicial. En septiembre de 2025 se encontraron nuevos orificios de entrada (53 en Lote 1 y 14 en Lote 2). Adicionalmente, para identificar parasitoides, se instalaron trampas Van Someren cebadas con camarón descompuesto, capturándose moscas Tachinidae del género *Zelia* (Figura 21). Se hipotetiza que los vuelos de los adultos ocurren en los meses de mayo y enero.

Se realizan estudios sobre la mosca soldado negra *Hermetia illucens* la cual ha emergido como una alternativa biotecnológica para la valorización de residuos agroindustriales. En la caficultura, su empleo se ha centrado en la bioconversión de pulpa y mucílago de café, materiales generados en gran volumen durante el beneficio. Este insecto, no plaga, presenta metamorfosis completa en 42–77 días, destacándose por su tolerancia térmica y elevada eficiencia alimenticia. En Cenicafé se determinó que las larvas completan su ciclo en pulpa de café en 23 días, con una supervivencia cercana al 80%. Durante este período, incrementan su peso desde 0,000018 g hasta 0,238 g, transformando desechos en biomasa rica en proteínas y grasas. Se estandarizaron metodologías de manejo en todas las fases: recolección



Figura 19. *Linepithema neotropicum*, hormiga asociada con *Puto barberi* en las raíces de café. Finca El Empino, Vereda La Paloma, Manzanares, Caldas.

de posturas (Figura 22), cría de neonatos y engorde en dietas con harina de pulpa (Figura 23), mucílago y suplementos proteicos. Con densidades de hasta 8.000 larvas por bandeja, se logró una reducción del 65% al 80% del volumen de pulpa en 20 a 30 días. En la fase adulta, los parámetros reproductivos óptimos incluyeron densidades de 1.000 a 1.500 individuos/m², relación sexual 1–2:1, temperatura de 26–30°C y humedad relativa de 60%–70%. El procesamiento de prepupas para harina larval consideró métodos de sacrificio (escaldado o congelación) y secado controlado (<60°C). Se están realizando análisis microbiológicos para cumplir los estándares internacionales (UE, FAO, FDA), garantizando inocuidad en el producto final. Adicionalmente, pilotos en fincas IPAS evidenciaron que el larvicompost obtenido es más mineralizado y se genera en menor tiempo que el compostaje tradicional, aunque requiere un período de maduración antes de su uso como fertilizante. Estos avances posicionan a *H. illucens* como una herramienta estratégica para la caficultura sostenible, al reducir residuos, generar proteína de valor para alimentación animal y producir biofertilizantes de calidad, contribuyendo a la economía circular del sector cafetero.

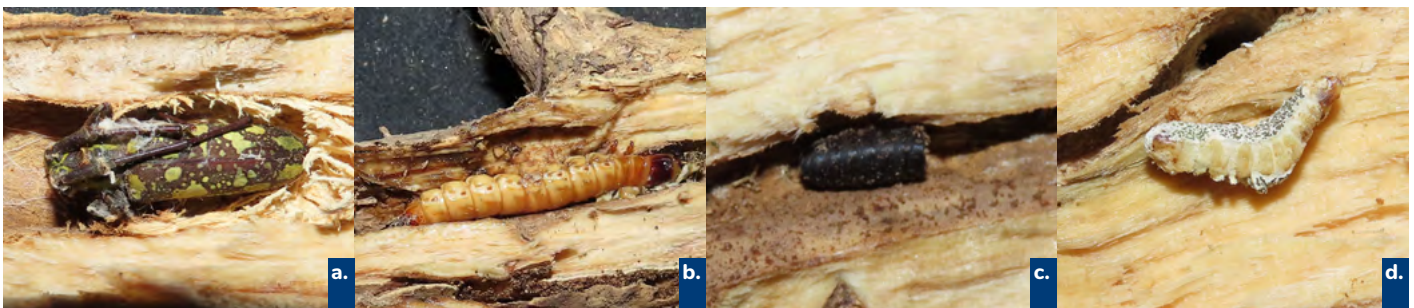


Figura 20. Enemigos naturales de *Plagiohammus colombiensis*. a. Adulto parasitado por un hongo no determinado. b. Larva de Elateridae en galerías de *P. colombiensis* depredando larvas. c. Pupa eclosionada de mosca Tachinidae, parasitoides de larvas de *P. colombiensis*. d. Larva parasitada por posible *Metarhizium* sp.



Figura 21. Mosca de la familia Tachinidae perteneciente al género *Zelia* posible parasitoide de larvas de *Plagiohammus colombiensis* recolectado en la finca Santa Bárbara, municipio de La Gloria, Cesar.



Figura 22. Detalle de posturas de la mosca soldado negra en tablas de madera.



Figura 23. Cría de *Hermetia illucens* en condiciones de cuarto de cría.

Factores abióticos que afectan el desarrollo de la arañita roja *Oligonychus yothersi* en café. ENT101018

La arañita roja *Oligonychus yothersi* es una plaga emergente del café en Colombia, cuya dinámica poblacional puede verse influenciada por insecticidas registrados para otras plagas del cultivo. Con el objetivo de evaluar estos efectos, se estableció una colonia de cría en el laboratorio, que alcanzó la tercera generación, lo que permitió obtener material suficiente para experimentación. Los ensayos contemplaron variables biológicas clave: longevidad de hembras, fecundidad, proporción sexual y parámetros de tabla de vida. Los resultados mostraron que el testigo (agua) y el insecticida tiametoxam prolongaron la longevidad de las hembras a más de 14 días y produjo un promedio de 35,9 huevos por hembra, superior al testigo con 27,2 huevos, lo cual explica la hormoligosis, donde la exposición a ciertos compuestos estimula la reproducción en lugar de limitarla. El análisis de la proporción sexual indicó una relación estable de cinco hembras por macho, sin diferencias significativas entre tratamientos ($X^2= 3,15$; $p= 0,369$). En los parámetros poblacionales, la tasa neta de reproducción (R_0) se redujo significativamente cuando se usó isocycloseram, lo que evidencia un control eficaz y un efecto negativo sobre la capacidad de reemplazo poblacional.

Actividad de mantenimiento y caracterización del cepario de hongos de Cenicafé. ENT 103001

La colección del cepario de Cenicafé cuenta actualmente con 320 cepas de microorganismos preservadas mediante tres métodos, con el fin de mantener su estado original. El uso de nitrógeno líquido ha demostrado ser el más eficiente, garantizando óptima viabilidad para la mayoría de especies. Entre los géneros más representativos se destacan *Beauveria bassiana* (139 cepas) y *Metarhizium anisopliae* (41 cepas), que conservan una viabilidad promedio cercana al 80%. Para otras especies, los porcentajes de germinación varían entre 58% en *Colletotrichum* sp. y 93% en *Trichoderma* y *Lecanicillium*. Desde 2020 se han reportado tres brotes del gusano rojo gregario, *Acharya intensa*, en cafetales de Durania, Norte de Santander. El más reciente, ocurrido entre diciembre de 2024 y enero de 2025, fue también el de mayor severidad, con alta densidad larval. Estos ataques se asociaron con la temporada seca e inician en árboles de sombrío, desde donde las larvas se dispersan, provocando la defoliación progresiva de los cafetos cercanos. Durante este último brote se recolectaron larvas parasitadas por un hongo entomopatógeno (Figura 24), identificado mediante secuenciación en el Instituto de Biotecnología IBUN y confirmado por morfología (Figura 25), como *Cordyceps* pos. *farinosa*. Este hallazgo resulta de gran importancia, ya que constituye la primera epizootia que asocia estas especies. Actualmente se está reproduciendo este hongo para realizar aspersiones en cafetales durante los ataques tempranos, de tal manera que se contribuya con el control natural de esta plaga potencial.

Determinación de las condiciones para la importación y exportación de parasitoides de la broca del café. ENT103017

Phymastichus coffea (Hymenoptera: Eulophidae) es un parasitoide de la broca del café capaz de reducir las infestaciones en el campo hasta en un 51,1%. Sin embargo, la inversión que requieren los sistemas de cría convencionales ha limitado las intenciones de producción masiva para exportación. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia

de sustratos inertes de bajo costo y su viabilidad económica para la cría de esta especie. Se trabajó en condiciones controladas de 25°C y 70% de humedad relativa. Se evaluaron tres sustratos: cartón corrugado de 3,0 mm, masa de harina de trigo con anticontaminantes y tortilla de harina comercial. Se efectuaron nueve evaluaciones con 20 unidades de observación por repetición. Cada unidad consistió en un recipiente con el sustrato, 100 brocas desinfectadas y una proporción de diez brocas por tres avispas. Todos los procedimientos se efectuaron en cámara de flujo laminar bajo protocolos de asepsia. Los resultados mostraron que la tortilla comercial de harina fue el sustrato más eficiente, donde se logró un 67% de parasitismo y tasas de desarrollo de *P. coffea* de 79% y 86% a los 15 y 35 días, respectivamente, con solo un 15% de contaminación. En contraste, el cartón corrugado y la masa de harina presentaron altos niveles de contaminación fúngica (85% y 100% a los 35 días). El costo estimado de producir 1.000.000 de avispas en tortilla comercial de harina resultó 78,7% menor frente al café pergamino húmedo y 47,8% menor respecto a la dieta artificial.

Producción masiva de parasitoides africanos para el control de la broca en grandes áreas (Area-wide). ENT107011

En diciembre de 2024 se realizó la liberación de *Prorops nasuta* a partir de 82.000 granos de café infestados por broca con un promedio de parasitismo por la avispa del 81%. Se estimó la liberación de 531.360 individuos un mes antes de la renovación de cafetales en la Estación Experimental La Catalina, con el fin de fortalecer el control biológico de la broca del café. Posteriormente, entre marzo y mayo de 2025, se liberaron *Phymastichus coffea* a partir de 81.000 granos infestados por broca, con un promedio de parasitismo por la avispa del 71,2%, equivalentes a 494.586 avispas liberadas en lotes de

colonización. El seguimiento del porcentaje de parasitismo en el campo de *P. coffea* mostró que entre noviembre de 2024 y marzo de 2025 los valores se mantuvieron en cero, registrando un incremento a partir de abril. No obstante, este repunte fue inferior al observado en años anteriores, lo que sugiere la necesidad de ajustar las estrategias de liberación y monitoreo. De forma complementaria, entre septiembre de 2024 y agosto de 2025 se produjeron 588.000 individuos de *P. coffea* a partir de 210 recipientes con broca sobre sustrato artificial (Figura 26). Esta producción ha permitido su uso tanto en liberaciones en la Estación Experimental La Catalina como en envíos a programas de control biológico en Hawái y Puerto Rico, evidenciando la capacidad de multiplicación del parasitoide a escala semi-industrial. Estos resultados consolidan a *P. coffea* y *P. nasuta* como pilares estratégicos en el manejo integrado de esta plaga.

Validación del manejo del cultivo de café sin el uso de insecticidas químicos. ENT107014

En la Estación Experimental La Catalina se ha avanzado en el monitoreo de la mortalidad del hongo *Beauveria bassiana* en el campo, cuando las condiciones de infestación sobrepasan el 2% de infestación y 50% de la posición de la broca en posiciones A y B. De 73 aspersiones realizadas entre abril del año 2023 y junio del año 2025, el 11% superaron



Figura 24. *Acharia intensa* con ataque de *Cordyceps farinosa* a. Cubierta de micelio y esporas; b. Corte de pupa momificada por el hongo.



Figura 25. Estroma de *Cordyceps farinosa* en medio de cultivo SDA.



Figura 26. Liberación de *Phymastichus coffea* en dieta artificial. **a.** Caja galletera con dieta artificial y broca parasitada con la avispa entregada por Biocafé; **b.** Caja postrera con dieta con perforación superior y muselina para la salida de la avispa; **c.** Dispositivo para la liberación de *Phymastichus coffea* en dieta para protección de lluvias.

el 90% de mortalidad en el campo, así como entre el 29% y el 56% superaron los umbrales entre 80% y 60% de mortalidad, respectivamente. La estabilidad del hongo comercial se afecta durante el tiempo y las condiciones de almacenamiento. De acuerdo con el monitoreo de la infestación de la broca ponderada en el campo, desde el año 2012 en la Estación Experimental La Catalina, solo en dos momentos (2016, 2020) se registraron valores que superaron el nivel de daño económico del 5%; en los últimos años, aunque se han presentado condiciones favorables para el desarrollo de la plaga, desde el momento de la adopción de la estrategia sostenible, sin insecticidas químicos, se han mantenido los niveles por debajo del nivel de daño económico, y en algunos casos, por debajo del umbral de acción del 2% (Figura 27). Se concluye que esta estrategia sostenible es eficaz en el control de la broca del café. De manera consecuente, la infestación en el café pergamino seco se mantuvo por debajo del 1,5% durante la cosecha principal de 2024, cuando se recolectó el 88% del café de todo el año.

Dado que las aplicaciones del hongo demandan mano de obra, adicionalmente se evalúa un equipo termonebulizador Swingfog para el control de la broca del café con *Beauveria bassiana* (Figura 28). Para esto se aplicó una formulación comercial en la Estación Experimental La Catalina (Cenicafé), en un lote de segunda cosecha con densidad de 7.518 plantas/ha. Se incluyeron dos testigos: absoluto (agua) y relativo (aspersora de espalda eléctrica con boquilla TX3). La evaluación se realizó sobre infestaciones naturales en el campo a los 20 días después de las aplicaciones. La mortalidad en el testigo relativo superó el 75% (Figura 29), para el testigo absoluto no se tuvieron resultados significativos.

Se iniciaron las evaluaciones de poblaciones de *Puto barberi* con el fin de aplicar productos no químicos a partir de un umbral de acción. El estudio se desarrolló en la Estación Experimental La Catalina y en fincas de Manzanares, Caldas, en un lote de 0,49 ha de variedad Castillo® de 3,4 años. Al momento de la evaluación,

se registró que el 33,4% de las plantas eran verdes productivas, 1,0% cloróticas productivas, 18,2% defoliadas con baja producción, 5,5% muertas y 42% sitios perdidos. Se establecieron cuatro categorías de daño con base en el estado fitosanitario y productivo. En cada categoría se marcaron 15 plantas (total 60), se registró la producción, y posteriormente, se desenterraron para cuantificar la población de *P. barberi*. Los resultados mostraron que las plantas verdes productivas alcanzaron la mayor producción ($706,7 \pm 114$ g) y la menor densidad de *P. barberi* (17 ± 7 individuos, mínimo 0). Las plantas cloróticas redujeron el rendimiento en 58% respecto a las verdes ($299,3 \pm 50,7$ g) y presentaron una alta infestación (449 ± 95 individuos, mínimo 15). En plantas defoliadas con baja producción, el rendimiento fue de apenas $34,9 \pm 9,7$ g, con una densidad promedio de 314 ± 109 individuos por planta. Así, puede establecerse que, a partir de 15 individuos de *P. barberi* por planta comienzan las pérdidas productivas, lo que constituye un umbral de acción para implementar medidas de manejo. Adicionalmente, con el fin de proponer un manejo etológico de la plaga en el campo, se identificó la flora asociada a *P. barberi*; en la Estación Experimental se identificaron 21 especies de arvenses, confirmándose a *Hyptis atrorubens*, *Galinsoga parviflora*, *Conyza bonariensis*, *Talinum paniculatum* y *Bidens pilosa* como hospedantes. En Manzanares se registraron 17 especies, de las cuales 16 hospedaron *P. barberi*, excepto *Mycrostachys corniculata*. Este hallazgo es de gran significancia por tratarse de la primera vez que se encuentra una especie totalmente sana en un lote infestando todas las demás especies botánicas (Figura 30).

Construcción y aplicación de un modelo para broca y chamusquina del café. ENT107015.

La broca del café ocasiona pérdidas parciales o totales del grano por el daño directo a las almendras, por lo cual surge la necesidad de implementar herramientas innovadoras que permitan optimizar el muestreo, mejorar

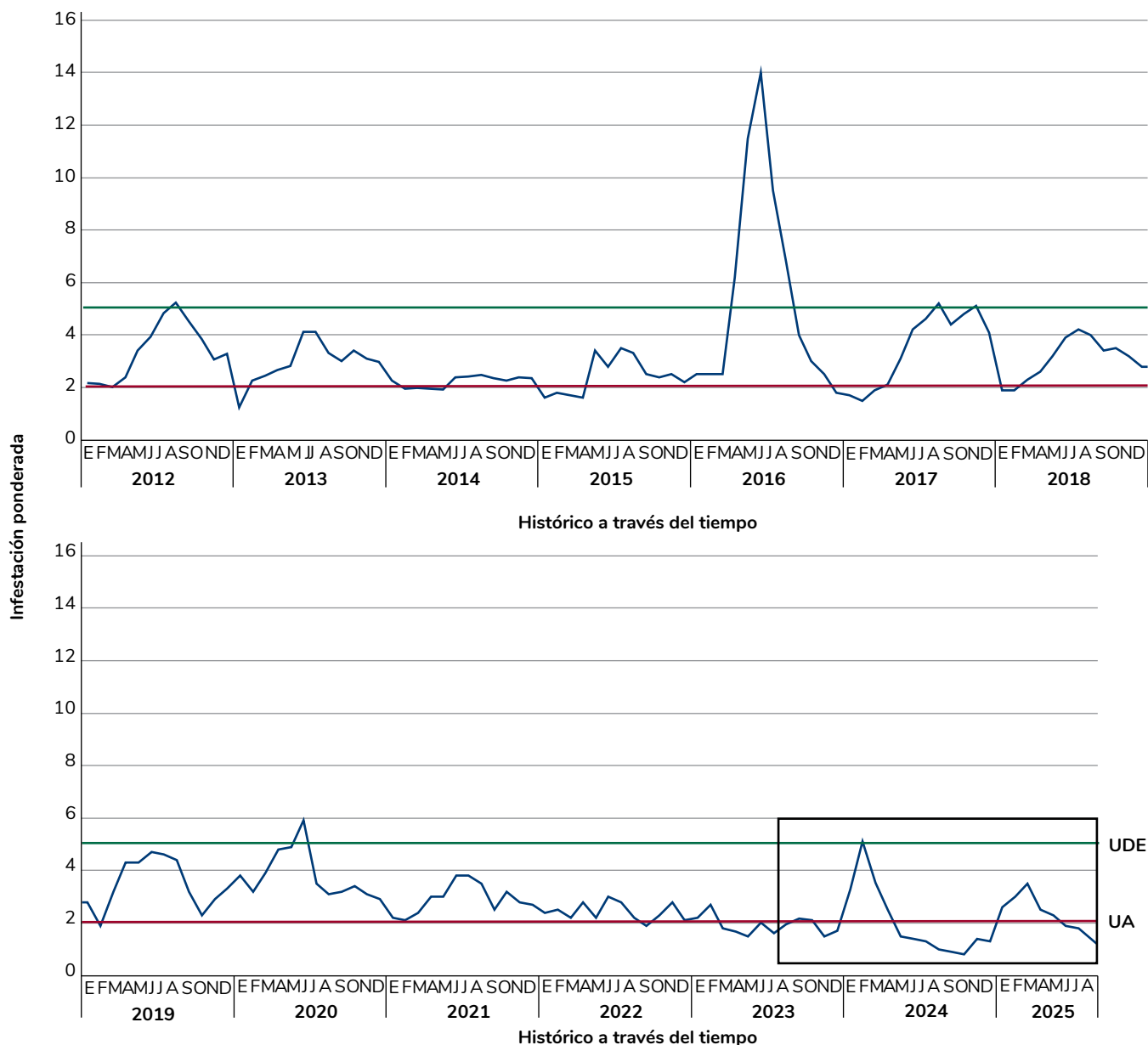


Figura 27. Porcentaje de infestación por broca ponderada en la Estación Experimental La Catalina, desde el año 2012 hasta el año 2025. El recuadro indica la infestación desde el inicio de este proyecto de manejo sostenible sin insecticidas químicos, UDE: umbral de daño económico; UA: umbral de acción.



Figura 28. Nebulización en el lote.

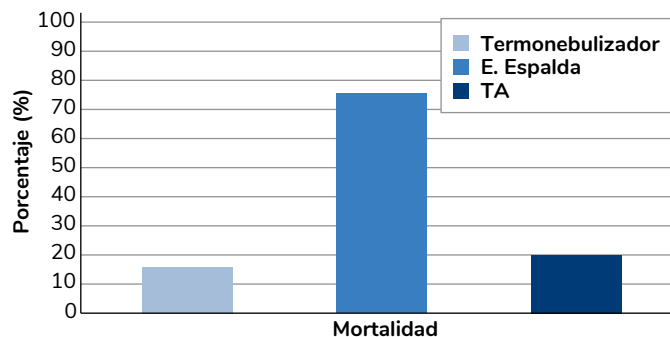


Figura 29. Porcentaje de mortalidad de *H. hampei* en lotes de café 21 días después del tratamiento con *B. bassiana* mediante la utilización de dos equipos de aplicación. Límites de confianza al 95%. La Catalina, 2025.

la oportunidad de las recomendaciones y fortalecer las estrategias de Manejo Integrado. Con el objetivo de desarrollar una herramienta digital para el muestreo de la broca y avanzar en la creación de una estrategia digital de alerta temprana para la chamusquina del café, se instalaron trampas convencionales y trampas automatizadas en la Colección Colombiana de Café. Estas últimas cuentan con capacidad para registrar de manera automática las capturas de la broca y otros insectos. Los resultados iniciales evidenciaron que las trampas automatizadas tendieron a subestimar el número de brocas capturadas y, en contraste, registraron una alta proporción de insectos no objetivo. Para superar estas limitaciones se realizaron ajustes en el diseño, incluyendo cambios de color y la fusión de dispositivos, lo que incrementó la captura de la plaga y redujo la proporción de organismos ajenos al cultivo. De manera complementaria, se optimizó el software logrando un mejor desempeño en la identificación digital de los insectos. Estos avances representan un paso significativo hacia la consolidación de plataformas digitales aplicadas al manejo de plagas, enmarcadas dentro de la agricultura 4.0.



Figura 30. Arvensis *Microstachys corniculata* (Vahl) Griseb (Euphorbiaceae), donde no se encontró poblaciones de *Puto barberi*.

Experimentación

La Disciplina de Experimentación mantuvo activas sus **nueve Estaciones Experimentales (EE)**, que cubren un total de **367,08 hectáreas**.

Investigación y Réplicas

- Se llevaron a cabo **155 réplicas de investigaciones**, de las cuales **138 siguen vigentes**.
- **Mejoramiento Genético** fue la disciplina con mayor actividad, con **33 réplicas**.
- La Estación Experimental **Naranjal** se destacó por su alta actividad, desarrollando **52 réplicas**.
- Además, se realizaron **nueve réplicas de investigación directamente en fincas** de caficultores, especialmente para validar la caficultura en zonas bajas.

Apoyo y difusión

- En apoyo al Servicio de Extensión, se atendieron **9.006 visitantes** (caficultores, extensionistas, estudiantes y otros); donde el **45%** de los visitantes fueron **caficultores**.

Producción y calidad de semilla

- Se entregaron **77.797 kg de semilla**, logrando un cumplimiento del Acuerdo de Nivel de Servicio (ANS) del **91%**.



- El Comité que más semilla demandó fue **Tolima**, con **10.197 kg**.
- La variedad **Castillo 2.0** fue la más entregada, representando el **23%** del total.
- El **46%** de toda la semilla se produjo en la Estación Experimental **Naranjal**.
- La calidad de la semilla fue excelente: las pruebas tetrazolio y de laboratorio mostraron un porcentaje de germinación promedio de **96,1%** y **87,6%**, respectivamente. La germinación en arena fue del **81,7%**.

Gestiones y registros legales

- Se solicitó al **ICA** el certificado de entrega de semilla seleccionada a los caficultores.
- Se completaron trámites en la plataforma **SimplifICA** para gestionar registros clave como productores y exportadores de semilla seleccionada, y el registro de la unidad de mejoramiento genético.
- Se obtuvo el **registro del cultivar** para la variedad **Castillo 2.0**.
- Se avanzó en los trámites de **derechos de obtentor** para las variedades **MEG105002(Gigante)#41** y **MEG105001(Líbano)#617**.
- Se continúa el trabajo con el **ICA** en las pruebas DHE (Distinción, Homogeneidad y Estabilidad) para las futuras variedades de Cenicafé.

Fisiología Vegetal



Durante la vigencia 2024 – 2025, la Disciplina de Fisiología Vegetal culminó la investigación FIS104005, orientada a la evaluación de un inhibidor de la síntesis de etileno en frutos de café. Los resultados obtenidos en este proyecto permitieron demostrar la acción de dicho inhibidor en diferentes estados de maduración. De manera paralela, se avanzó en la ejecución de los proyectos FIS104006 y FIS104007, dirigidos a consolidar el conocimiento en dos frentes estratégicos tanto para la disciplina de Fisiología Vegetal como para Mejoramiento Genético. El primero, enfocado en la clasificación de progenies mejoradas de café según el tiempo de maduración de los frutos, aportando criterios fisiológicos y agronómicos que generan conocimiento sobre este proceso de desarrollo. El segundo, orientado a la estandarización de metodologías analíticas para la identificación del 16-ortometil cafestol, constituye un aporte para garantizar la autenticidad del café colombiano en progenies avanzadas, provenientes de cruces interespecíficos entre *Coffea arabica* y *Coffea canephora*.

Clasificación de progenies mejoradas de *Coffea arabica* por tiempo de madurez de cosecha del fruto como parámetro para la constitución de variedades compuestas. FIS104006

Con el objetivo de clasificar el ciclo de maduración del fruto de progenies de café con distintos tipos de hibridación (intra e interespecífica), se monitoreó el ciclo de maduración del fruto usando los grados días de crecimiento (GDD) en 12 progenies con hibridación intraespecífica (Intra.H.) y en 24 con hibridación interespecífica (Inter.H.), durante la cosecha principal y de mitaca (Tabla 17). Además, se evaluaron las variables tiempo cronológico de madurez del fruto (CTFR), radiación fotosintéticamente activa (PAR) y lluvia (R). El análisis de la información consistió en agrupar las progenies por GDD usando el método de k-means. Luego, las variables se evaluaron mediante un análisis de varianza multivariable semi-paramétrico con medidas repetidas para los clústeres de madurez como factor entre sujetos, mientras que, la cosecha fue definida como el factor dentro de sujetos.

Se detectaron tres clústeres de madurez. El clúster de madurez temprana (C1) agrupó las progenies con los menores GDD en la cosecha de mitaca y principal. En contraste, el clúster de madurez tardía (C3) mostró a las

progenies con los mayores GDD, tanto en la cosecha de mitaca como en la principal. El C2 exhibió el menor cambio entre mitaca y principal, indicativo de la estabilidad de estas progenies. En general, el desarrollo del fruto requirió mayor GDD en la cosecha secundaria (3.023 – 3.248 GDD) que en la principal (2.636 – 3.030 GDD) (Figura 31). El análisis de varianza multivariado mostró que el efecto de los clústeres de madurez también depende de su interacción con la cosecha (Tabla 18). El análisis descriptivo mostró que los valores de los clústeres de madurez (C1, C2, C3) para las variables GDD, CTFR y PAR disminuyeron en la cosecha principal con respecto a la cosecha secundaria, mientras que, en la variable R se observó lo contrario (Figura 32). Esto indica diferentes estrategias en el proceso de maduración de las progenies.

Identificación de 16-ortometil cafestol en líneas avanzadas provenientes de cruces interespecíficos de *Coffea arabica* x *Coffea canephora*. FIS104007

En este proyecto se evalúa la presencia del compuesto 16-ortometil cafestol (16-OMC) en progenies avanzadas del programa de Mejoramiento Genético, con el propósito de establecerlo como una herramienta para el control y la garantía del origen 100% arábigo del café colombiano. Estas progenies, producto de cruzamientos con *C. canephora*, pueden contener trazas de 16-OMC, compuesto reconocido internacionalmente como indicador de fraude en mezclas de café robusta con café producido en Colombia. En el marco de la investigación se optimizó la técnica analítica para la determinación del 16-OMC,

Tabla 17. Progenies y número de tratamiento de las progenies, procedentes de los cruzamientos con hibridación intraespecífica de *Coffea arabica* (*Intra.H.*) y de la hibridación interespecífica entre *C. arabica* y *C. canephora* (*Inter.H.*). Generación filial (F).

Progenie	Hibridación Cruzamiento	F
	<i>Intra.H.</i>	
1	Etiopía x (Caturra x Híbrido de Timor)	F5
7	Híbrido de Timor x (Caturra x Híbrido de Timor)	F5
38	Caturra x Híbrido de Timor	F8
29	Caturra x Híbrido de Timor	F7
6	Caturra x Híbrido de Timor	F7
30	Caturra x Híbrido de Timor	F8
31	Caturra x Híbrido de Timor	F8
20	[Caturra x (Caturra x <i>C. canephora</i>)] x [Catuaí x (Caturra x Borbón)]	F5
25	[(Caturra x Híbrido de Timor) x (Caturra x Híbrido de Timor)] x [Catuaí x (Caturra x Borbón)]	F5
22	[Caturra x (Caturra x <i>C. canephora</i>)] x [Catuaí x (Caturra x Borbón)]	F5
21	[(Caturra x Híbrido de Timor) x (Caturra x Híbrido de Timor)] x (Sudán Rume x Catuaí)	F5
27	[(Caturra x Híbrido de Timor) x (Caturra x Híbrido de Timor)] x Etiopía	F5
	<i>Inter.H.</i>	
63	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
42	Caturra x [(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra]	F5
43	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F7
51	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F7
52	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F7
41	Caturra x [(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra]	F5
44	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F7
86	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
95	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
75	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
64	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
80	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
84	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
70	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
102	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
82	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
99	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
90	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5

Continúa...

...continuación.

Progenie	Hibridación Cruzamiento	F
58	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
68	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
66	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
93	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F5
73	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6
54	(Caturra x <i>C. canephora</i>) x Caturra	F6

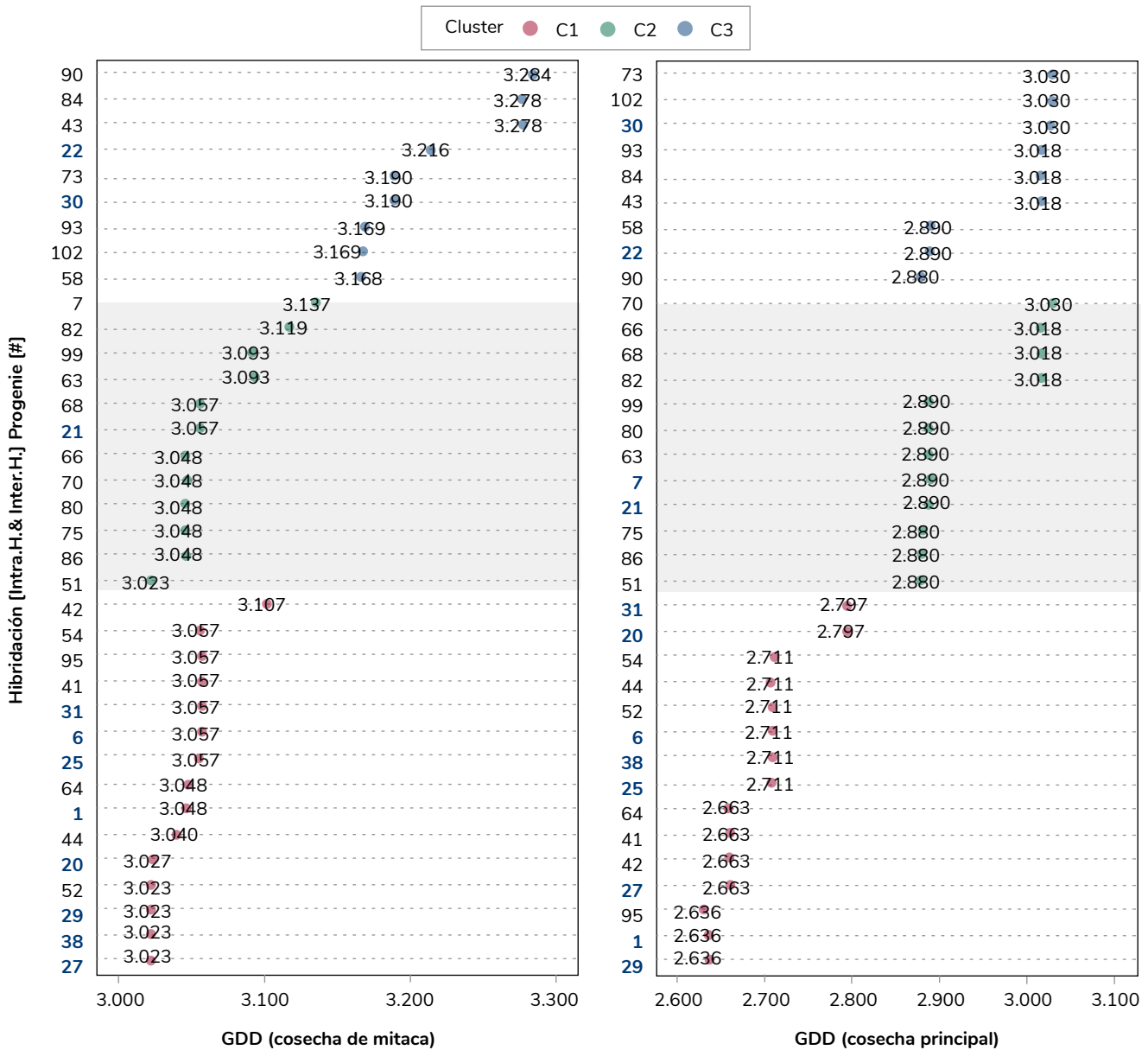


Figura 31. Puntos de la dispersión de los grados-día de crecimiento acumulado (GDD) por número de la progenie procedente de hibridación intraespecífica de *C. arabica* (Intra.H.) o de hibridación interespecífica de *C. arabica* con *C. canephora* (Inter.H.) y su correspondiente clúster de madurez temprana (C1), madurez intermedia (C2) y madurez tardía (C3) en la cosecha de "mitaca" (a.) y la principal (b.).

Tabla 18. Análisis semi-paramétrico multivariable tipo-ANOVA modificado en medidas repetidas con la estimación del p-valor usando la aproximación de Bootstrap Paramétrico (PBS) para el conjunto de variables grados-día de crecimiento acumulado (GDD), tiempo cronológico de madurez del fruto (CTFR), radiación fotosintéticamente activa (PAR), lluvia (R) en progenies de café. El factor entre sujetos fue el clúster de madurez, mientras que, el factor dentro de sujetos fue la cosecha.

Factor	Prueba estadística	PBS p-valor
Clúster	941,11	<0,001
Cosecha	1.023,537	<0,001
Clúster x Cosecha	309,309	<0,001

logrando su separación cromatográfica y la construcción de la curva de calibración (Figura 33), elaborada con 13 estándares en un rango de 25 ppb a 3.000 ppb. Con esta calibración se estableció un límite de detección de 50 ppb, lo que asegura sensibilidad y precisión en la cuantificación del compuesto.

Con estos parámetros fue posible identificar el compuesto en mezclas de *C. arabica* con *C. canephora* superiores al 1%, obteniendo además una correlación lineal confiable en la cuantificación del 16-OMC (Figura 34). Esta información servirá de base, en articulación con la Disciplina de Calidad, para el diseño de un modelo predictivo en el equipo NIRS, que posteriormente será

implementado por Almacafé en los diferentes puertos de Colombia.

Por otra parte, se ha identificado que el 86% de las progenies avanzadas de *C. arabica* x *C. canephora* evaluadas en el programa de Mejoramiento Genético presentan niveles importantes de este compuesto (>40 mg kg⁻¹) (Figura 35). Mientras que los compuestos químicos estudiados por la técnica NIRS son similares a los identificados en las variedades actuales (Tabla 19).

Determinación de la inhibición de emisión de etileno en frutos de café con dos productos comerciales. FIS104005

Mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) se identificó la emisión de etileno en los cuatro estados de maduración del fruto de café (verde, pintón, maduro y sobremaduro). Los resultados mostraron que los frutos verdes presentan la menor emisión de etileno (1,1 µL kg⁻¹), mientras que los frutos maduros registran la mayor emisión (2,2 µL kg⁻¹). Por su parte, los frutos pintones y sobremaduros exhibieron valores similares, con emisiones de aproximadamente 1,5 µL kg⁻¹. (Figura 36).

Una vez caracterizado el comportamiento de la emisión de etileno en los diferentes estados de maduración del fruto de café, se analizó la emisión de etileno mediante la aplicación del inhibidor de etileno ácido salicílico (AS) a 1 mM directamente sobre los frutos en el árbol, incluidos los cuatro estados de maduración (verde, pintón, maduro y sobremaduro), recolectándose muestras a la hora, y a los uno, cuatro, ocho y 12 días posteriores a la aplicación. Los resultados evidenciaron una reducción promedio en la producción de etileno entre el 10% y el 15%. La menor inhibición se observó en frutos verdes y sobremaduros (10%), seguida por los frutos pintones (12%) y finalmente los frutos maduros, presentaron la mayor inhibición de la producción de etileno (13%) (Figura 37).

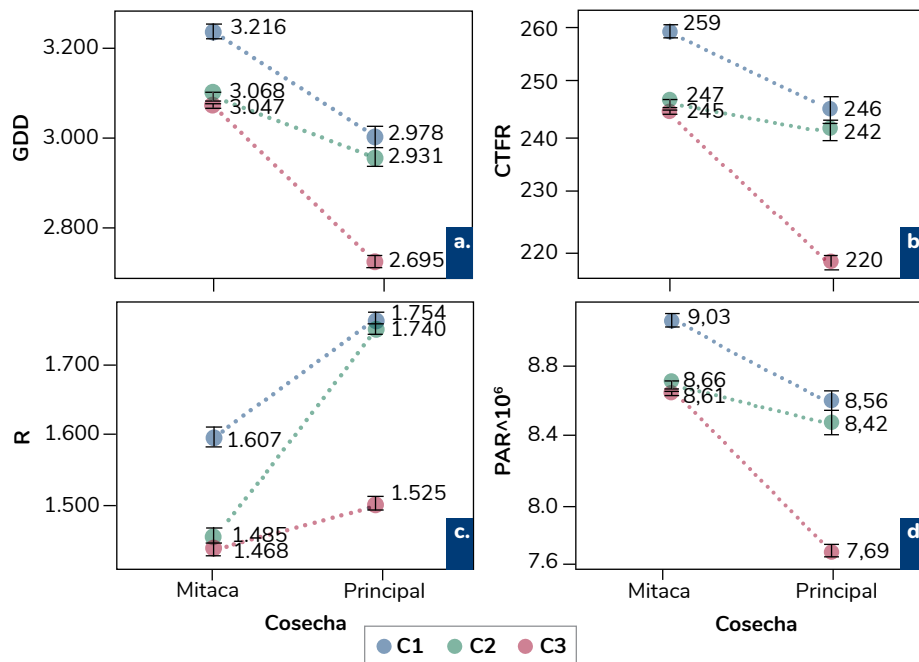


Figura 32. Medias y error estándar para las variables de grados-día de crecimiento acumulado (GDD), tiempo cronológico de madurez del fruto (CTFR: días después de floración), lluvia (R: mm) y radiación fotosintéticamente activa (PAR: mol m⁻²) para los clústeres de madurez temprana (C1), madurez intermedia (C2) y madurez tardía (C3) registradas durante la cosecha de mitaca y la cosecha principal para progenies de café.

La Tabla 20 muestra la reducción de etileno obtenida con el inhibidor AS en el rango de tiempo evaluado. A los cuatro días de la aplicación de AS se presentaron los mayores porcentajes

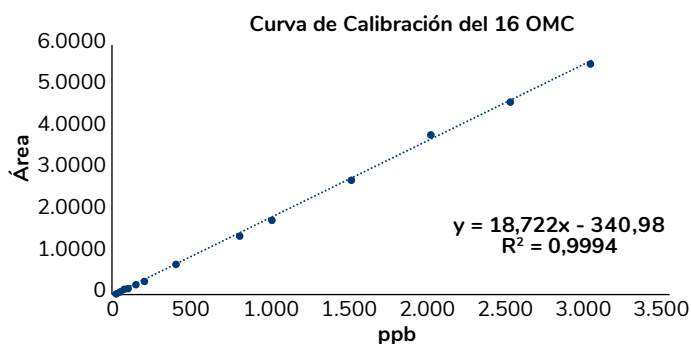


Figura 33. Curva de calibración del 16-ortometil cafestol.

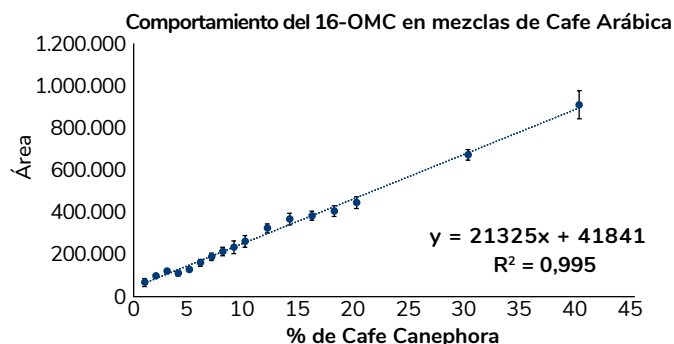


Figura 34. Comportamiento del 16-OMC en mezclas de mezclas de C. arabica con C. canephora.

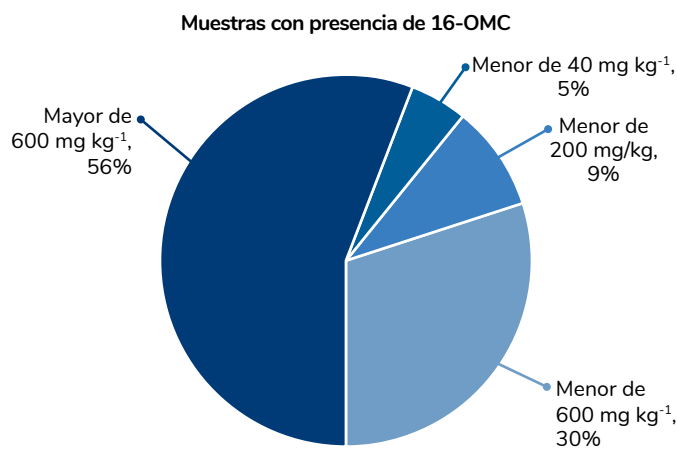


Figura 35. Identificación del 16-OMC en las líneas avanzadas.

Tabla 19. Porcentaje de compuestos químicos identificados por la técnica NIRS.

Muestras analizadas	Lípidos (%)	CQAT (%)	Sacarosa (%)	Cafeína (%)	Trigonelina (%)	Linoleico (%)	Palmítico (%)	Esteárico (%)	Oleico (%)	Ariquídico (%)
Máximo	12,9	6,1	9,3	1,5	1,1	44,8	39,9	9,9	14,5	3,2
Mínimo	7,6	4,8	6,6	0,7	0,6	37,1	35,2	5,8	8,3	0,8
Promedio	11,0	5,3	7,8	1,1	0,8	40,4	37,3	7,8	11,8	2,0
Referencia analítica	10,4	5,1	7,9	1,1	0,8	40,7	38,4	8,4	11,4	2,1

de reducción de la producción de etileno para los cuatro estados de maduración de los frutos de café probados, en el estado maduro con un porcentaje de inhibición de 15%, seguido por los estados verde y sobremaduro de 13% y, finalmente, el estado pintón con 12%. Estos resultados guardan coherencia con la actividad natural de emisión de etileno, en la cual los frutos maduros presentan los valores más altos en comparación con los pintones, sobremaduros y verdes.

De este modo, el uso del AS como inhibidor de la emisión de etileno plantea la necesidad de establecer prácticas de precosecha en las que el producto se aplique inmediatamente antes de que los frutos alcancen la madurez, con el fin de maximizar su efecto y prolongar la permanencia de los frutos maduros en el árbol. Además, se recomienda considerar re-aplicaciones del producto, dado que el efecto inhibitor disminuye progresivamente después del cuarto día de aplicado.

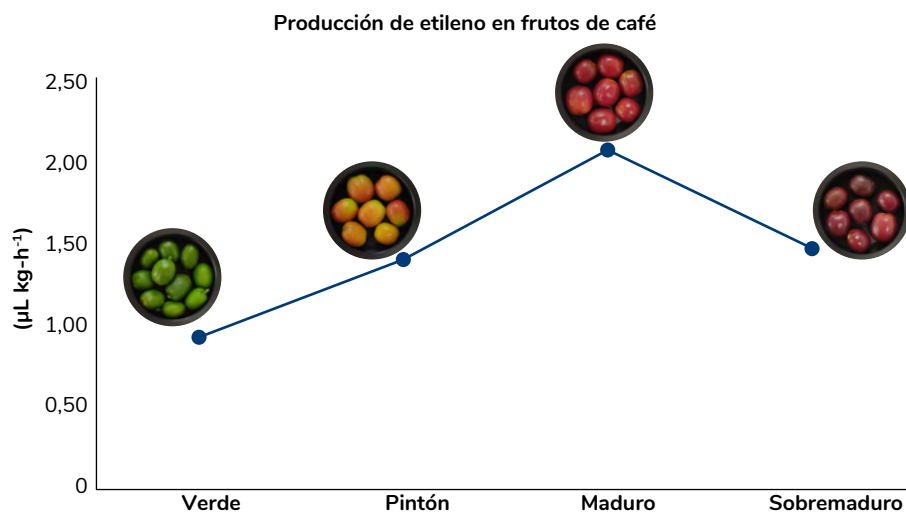


Figura 36. Comportamiento de la emisión de etileno en frutos de variedad Castillo®.

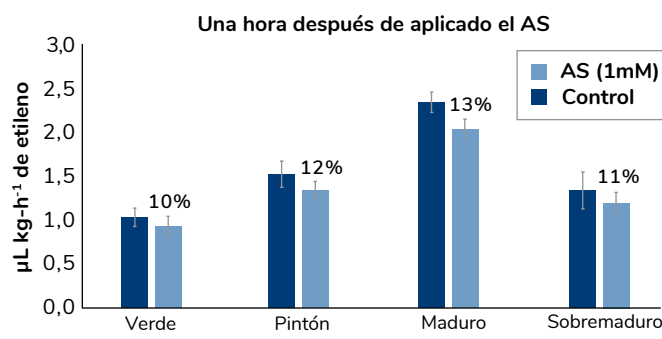


Figura 37. Efecto del inhibidor ácido salicílico 1 mM en la emisión de etileno en frutos de café.

Tabla 20. Porcentaje de reducción de etileno con el inhibidor AS (1 mM) respecto al testigo, en los diferentes estados de maduración y su permanencia en el tiempo.

Estado de maduración	Tiempo después de la aplicación de los tratamientos				
	1 hora	1 día	4 días	8 días	12 días
Verde	10%	13%	13%	10%	7%
Pintón	12%	12%	12%	10%	6%
Maduro	13%	13%	15%	12%	9%
Sobremaduro	11%	12%	13%	10%	9%

Fitopatología



Este informe detalla los proyectos relacionados con el desarrollo de estrategias para el manejo de las enfermedades del café. Un hallazgo importante fue la primera identificación oficial de la bacteria *Xylella fastidiosa* en cafetos asintomáticos por el ICA. Estamos atentos en Cenicafé para continuar el desarrollo de esta bacteria, pero hasta la fecha no se han detectado plantas con síntomas de enfermedad.

En cuanto a la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), la incidencia nacional es del 6,4% sin registro de epidemias, pero se presentan brotes localizados. Si bien las variedades mejoradas con alta resistencia (87% de los cultivos en Colombia) siguen siendo la principal estrategia de control, esto ha impulsado la evolución del patógeno, con aproximadamente 50 razas fisiológicas identificadas, 20 de ellas en Colombia. Existe una necesidad urgente de validar fungicidas nuevos y seguros, especialmente con las regulaciones de la Unión Europea (UE) que restringen muchos productos existentes. Varios fungicidas, como Elatus®, Eminent® Excell y Sphere® Max SC 535®, fueron validados y controlaron eficazmente la roya, protegiendo la producción. Se recomienda su aplicación rotando diferentes fungicidas. También se han iniciado ensayos para la aplicación de estos fungicidas con drones.

La investigación genómica ha producido un ensamblaje genómico de alta calidad y de referencia para *H. vastatrix*, que revela 18 cromosomas por núcleo. Este recurso es crucial para comprender su virulencia y estructura poblacional.

Para la enfermedad cuarentenaria de las cerezas del café (CBD) ocasionada por el hongo *Colletotrichum kahawa*, ausente en Colombia pero una amenaza de alto riesgo, se están evaluando 35 productos químicos y biológicos in vitro para desarrollar herramientas de manejo preventivas. Se están utilizando aislamientos de otras especies de *Colletotrichum* obtenidos en cultivos de café en Colombia.

Finalmente, se inició un proyecto colaborativo con World Coffee Research y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) para identificar nuevos genes de resistencia a la roya y desarrollar marcadores moleculares para facilitar el mejoramiento de nuevas variedades de *C. arabica* con resistencia durable a la roya.

Apoyo al Servicio de Extensión y Caficultores de Colombia en el reconocimiento y manejo de problemas bióticos y abióticos. PAT101001

Este informe se centra en el apoyo al Servicio de Extensión de la FNC y a los caficultores colombianos en el manejo de los problemas bióticos y abióticos que afectan la sanidad y la producción de los cultivos de café. Destacamos la identificación por primera vez en Colombia de la bacteria *Xylella fastidiosa* en café por parte del ICA. El 3 de marzo esta entidad emitió la resolución No. 00001961 donde se registró la presencia de la bacteria en dos plantas en los municipios de Fundación (Magdalena) y Moniquirá (Boyacá) en plantas asintomáticas de café.

En el caso de la roya del cafeto, los sondeos nacionales que realiza trimestralmente el Servicio de Extensión evidencian que, si bien la enfermedad está presente en variedades mejoradas, no ha alcanzado niveles epidémicos a nivel nacional, con una incidencia promedio del 6,4%. La situación parece involucrar brotes localizados en lugar de una infección generalizada, y se están realizando investigaciones para comprender los factores vinculados al aumento de los niveles de roya. Enfatizamos la necesidad de un programa de control de la roya del cafeto cuando la incidencia supera el 15% independiente de la variedad de café; confirmamos que otras enfermedades no han aumentado significativamente.

Desarrollo de un genoma de referencia de roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) PAT102006

Hemileia vastatrix, el agente causal de la roya del cafeto. A nivel global la enfermedad causa pérdidas de producción de hasta un 80%. Su alta capacidad de mutación y su ciclo de vida dominante en estado dicariótico, con dos núcleos que no intercambian material genético, complican

su estudio y control. Por ello, disponer de genomas de referencia resueltos en haplotipos y a nivel cromosómico es crucial para comprender la heterocigosidad, los mecanismos de patogenicidad y la estructura poblacional del hongo. En este estudio, se ha ensamblado el genoma de referencia en haplotipos para la raza I de *H. vastatrix*. Mediante una estrategia de secuenciación híbrida (PacBio HiFi y Dovetail Omni-C) y un ensamblaje con hifiasm y HiRise, se logró una contigüidad excepcional (N50 > 35 Mb) y una alta calidad (BUSCO > 91%; QV > 26). Este ensamblaje de calidad "gold-standard" revela por primera vez que cada núcleo del patógeno contiene 18 cromosomas, un número consistente con otros hongos de la roya.

La integridad estructural del genoma fue garantizada mediante una curación manual intensiva con mapas Hi-C para resolver artefactos de ensamblaje. El genoma resuelto en sus dos haplotipos permitió demostrar una alta sintenia entre ellos. Este recurso genómico fundamental, junto con las herramientas bioinformáticas desarrolladas, sienta las bases para investigaciones avanzadas sobre la evolución de la virulencia, las poblaciones del hongo y la interacción patógeno-hospedero.

Caracterización patogénica y genética de razas de roya presentes en materiales de café con resistencia y susceptibilidad a la enfermedad. PAT103011

La roya del cafeto causa pérdidas significativas de producción. Si bien las variedades resistentes (que abarcaron el 83% de los cultivos en 2020) son la principal estrategia de control, esto ha propiciado la evolución del patógeno, con alrededor de 50 razas fisiológicas identificadas, 20 de las cuales están presentes en Colombia.

La Disciplina de Fitopatología de Cenicafé está realizando monitoreo continuo y experimentos de inoculación cruzada en colaboración con el CIFC de Portugal, para estudiar la evolución y los patrones de virulencia del patógeno. Debido a la avanzada edad de las plantas actuales, se están preparando para sembrar nuevos genotipos de café en varias estaciones experimentales para finales de 2025. Estos ensayos implican la inoculación de 120 variedades diferentes de café con diversas muestras de roya.

Evaluaciones recientes confirman un claro aumento en el número y la virulencia de las razas de roya desde 2010, particularmente contra las progenies derivadas del Híbrido Timor 1343. Estos hallazgos críticos están informando directamente la selección de aislamientos de roya para pruebas de resistencia y ayudando a definir estrategias efectivas para desarrollar nuevas variedades de café

resistentes en el marco del proyecto WCR (PAT105006).

Evaluación de fungicidas registrados en Colombia como alternativa para manejo de CBD y otras especies de *Colletotrichum* en café. PAT104021

La enfermedad de las Cerezas del Café (CBD) causada por *Colletotrichum kahawae* es una amenaza para Colombia. Esta es una enfermedad cuarentenaria ausente y en caso de ingreso al país, el potencial de daño es muy alto, dado que las condiciones de nuestra caficultura son propicias para el desarrollo de la enfermedad. Con el fin de disponer de herramientas de manejo, ante la eventual presencia de la enfermedad en Colombia, se está evaluando, en condiciones in vitro, productos de síntesis química y biológicos. Se utilizan como modelo biológico aislamientos colombianos de *Colletotrichum* spp. causantes de antracnosis en cultivos de café. Se seleccionaron 35 productos con registro ICA vigente. Cada uno ha sido sometido a diferentes pruebas seleccionando a aquellos de mejor desempeño para inhibir la germinación de las conidias o el crecimiento del micelio. Inicialmente se preseleccionaron los fungicidas que no permitieron el crecimiento del hongo a altas dosis. Posteriormente se realizaron pruebas para definir las DL₅₀, DL₇₅, y DL₉₀ de cada uno de los fungicidas preseleccionados. Los que presentaron mayor capacidad inhibitoria a bajas dosis, para el crecimiento de micelio o para la germinación de las conidias se evaluaron sobre un grupo de 26 aislamientos de *Colletotrichum* spp. Se ha encontrado que algunos fungicidas controlan la germinación de las conidias y el crecimiento de la colonia, pero se observa variación en la respuesta dependiendo del aislamiento, poniendo en evidencia la complejidad del control de este hongo. En la última fase se evalúa la capacidad de los fungicidas seleccionados para controlar la enfermedad. En frutos de café desprendidos se realizan inoculaciones artificiales con diferentes aislamientos de *Colletotrichum* y se evalúa su capacidad de limitar el desarrollo de la enfermedad, en ambos esquemas de control, preventivos o curativos.

Evaluación del fungicida cyproconazole + trifloxystrobin (Sphere® Max) como alternativa en rotación para el control de la roya del cafeto en variedad Caturra. PAT104023

En Colombia, para el año 2024, el 12% de la caficultura estaba sembrada con variedades susceptibles a la roya de cafeto. Esta enfermedad tiene una alta importancia económica, por lo que requiere un manejo integrado, adecuado y oportuno. Por esta razón, Cenicafé continúa investigando en alternativas de control, incluyendo los

fungicidas de síntesis química. En esta investigación se evaluó el control de la enfermedad con el fungicida Sphere® Max SC 535® (cyproconazole + trifloxystrobin), aplicado solo y en rotación con otros fungicidas, y con una o dos aplicaciones. En una primera fase, se estableció un experimento en un cultivo comercial de la variedad Caturra, en el municipio de Santa Rosa de Cabal (Risaralda). Se evaluó el efecto del fungicida en el control de la enfermedad en diferentes esquemas de aplicación, iniciando a los 60 días después de la floración principal (ddfp), utilizando una dosis de 1,1 cc L⁻¹. Adicionalmente, se analizaron la producción de café cereza, la calidad física del café pergamino seco (CPS) y la presencia de residuos en CPS. De los tratamientos evaluados, se seleccionaron cuatro que mostraron el mayor control de la roya y una producción de grano óptima, comparable con el testigo comercial recomendado actualmente por Cenicafé. Se validó la eficacia de estos tratamientos en una parcela con alta presión de enfermedad, ubicada en la Estación Experimental Naranjal (Chinchiná, Caldas). En ambos experimentos, los tratamientos con Sphere® Max SC 535 mostraron un mejor desempeño en comparación con el testigo sin aplicación, logrando restringir el progreso de la enfermedad y mantener tanto el volumen como la calidad del grano producido (Figura 38). No se detectaron residuos por encima de los límites máximos de seguridad en café verde. El fungicida Sphere® Max SC 535 se integró al programa de control químico de la roya del café. Su mejor desempeño se registró al aplicarse en la segunda aplicación (a 120 ddfp), en combinación con una primera aplicación (a 60 ddfp) de un fungicida con ingredientes activos diferentes.

Evaluación del fungicida tetraconazole + azoxystrobin (Eminent® Excell) para el control de la roya del café en variedad Caturra. PAT104024

La roya del caféto (*Hemileia vastatrix*) es la enfermedad de mayor importancia económica para el cultivo del café en el mundo. En Colombia, las pérdidas en la producción en variedades susceptibles y sin control de la enfermedad pueden llegar a ser hasta del 30% y en otros países alcanzan el 80%. Dentro de la estrategia de manejo de la enfermedad los fungicidas son un componente fundamental. De los productos con registro ICA, muchos no han sido validados por Cenicafé, y otros tienen uso restringido, debido a la regulación nacional e internacional. Durante la vigencia 2024-2025 se continuó con la validación del efecto de los fungicidas Eminent® Excell (tetraconazole 80 g L⁻¹ + azoxystrobin 100 g L⁻¹) y tetraconazole

125, en el control de la roya del caféto. El experimento se estableció en un lote con alta presión de la enfermedad en la Estación Experimental Naranjal. La epidemia de roya fue severa durante la ejecución del ensayo de validación, lo cual permitió cuantificar el efecto de los fungicidas en el control de la enfermedad, en la producción, la calidad física y sensorial del café. Los tratamientos con fungicidas disminuyeron la intensidad de la enfermedad (incidencia y severidad de la roya) y la defoliación de las plantas en los períodos críticos de desarrollo y llenado de fruto, generando un efecto positivo en la producción de café cereza, en condiciones de alta epidemia.

Establecimiento de lotes permanentes de café para investigación sobre alternativas de manejo de enfermedades. PAT104025

Dada la escasez de cultivos de café homogéneos y adecuados de variedades susceptibles a la roya para investigación, Cenicafé estableció parcelas permanentes de la variedad Caturra. El objetivo es contar con lotes consistentes para estudiar alternativas de manejo de enfermedades importantes del café en Colombia.



Figura 38. Control de la roya del caféto con fungicidas. a. Hojas con presencia de roya esporulada. Las manchas tienen un color naranja intenso, evidencia de que la enfermedad está activa; b. Hojas con síntomas de roya controlados, las lesiones presentan un color amarillo pálido y no hay evidencia de esporulación; c. Hojas sanas, con algunas lesiones iniciales, aún sin esporulación.

Durante el período 2024-2025, continuó el mantenimiento de estas parcelas de Caturra cultivadas al sol, en cuatro estaciones experimentales: La Catalina (0,55 ha), Paraguaicito (0,4 ha), Naranjal (0,55 ha) y La Trinidad (0,35 ha). Las parcelas se sembraron con plantas de Caturra genéticamente uniformes y susceptibles, a una densidad de 1,1 m entre plantas y 1,3 m entre hileras. Estos lotes representan diferentes patrones de cosecha y epidemia en el país y reciben un manejo agronómico comercial estándar.

La parcela de La Trinidad se utiliza actualmente para un proyecto de Syngenta que prueba un producto para el control de la roya. Además, se han iniciado contactos con proveedores y se presentó una propuesta para probar drones para la aplicación de fungicidas. Estos futuros ensayos se realizarán en estas parcelas de Caturra establecidas.

Validación del fungicida benzovindiflupyr + azoxystrobin (Elatus®), para el control de roya del cafeto en variedad Caturra. PAT104027

La roya del cafeto es una plaga devastadora para el cultivo del café en Colombia, la cual causa pérdidas de entre el 23% y el 50%. El mejor método de control es plantar variedades mejoradas con alta resistencia, pero se requiere control químico para las variedades susceptibles. Más de 50 fungicidas registrados en el país para el control de esta enfermedad carecen de respaldo experimental, y las regulaciones ambientales de la Unión Europea (UE) restringen el uso de muchos productos químicos recomendados, incluyendo seis de siete fungicidas sistémicos. Existe una necesidad urgente tanto de

desarrollar nuevas moléculas seguras como que Cenicafé valide alternativas adaptadas a las condiciones colombianas.

En este período del informe, se validó el fungicida Elatus® frente a un tratamiento estándar (Amistar Zetra®) y un control sin tratamiento. Ambos productos controlaron eficazmente la roya. Además, Elatus® aumentó significativamente el rendimiento de las plantas de café, un efecto que podría atribuirse a las propiedades bioestimulantes de su componente azoxystrobina.

Desarrollo de una plataforma de simulación y modelamiento para el estudio de la biología de los patógenos y las principales enfermedades del cultivo del café. PAT105005

La producción de café desempeña un papel crucial para la economía de Colombia. No obstante, el cultivo enfrenta diversos desafíos que impactan la rentabilidad del cultivo. En esta investigación se abordan los retos relacionados con el cambio climático y la sanidad del cultivo, específicamente con las enfermedades “roya de la hoja” y “mancha de hierro” causadas por los hongos *H. vastatrix* y *Cercospora coffeicola*, respectivamente. El cambio climático está afectando las condiciones meteorológicas a nivel mundial, incluyendo la temperatura, humedad, radiación solar y concentración de gases de efecto invernadero (GEI). Esta investigación se enmarca dentro del macro-proyecto CAS. Tiene por objetivo evaluar en condiciones controladas el efecto de los cambios esperables en variables climáticas y GEI sobre la biología y agresividad de los patógenos causantes de la roya de la hoja y la mancha de hierro. En este informe se presentan los resultados de la obtención y caracterización de aislamientos de *C. coffeicola* y *H. vastatrix*. Se avanzó en la estandarización de las pruebas de patogenidad para mancha de hierro en hojas de café desprendidas. Se evaluaron cinco aislamientos, cuatro concentraciones de inóculo y la edad de los aislamientos, entre otras. Se caracterizó la respuesta a temperatura de algunos aislamientos de *C. coffeicola* (Figura 39). Se logró reproducir la enfermedad (Figura 40). No obstante, la frecuencia de síntomas fue baja; por lo que es necesario continuar ajustando la metodología para mejorar la eficacia del método.

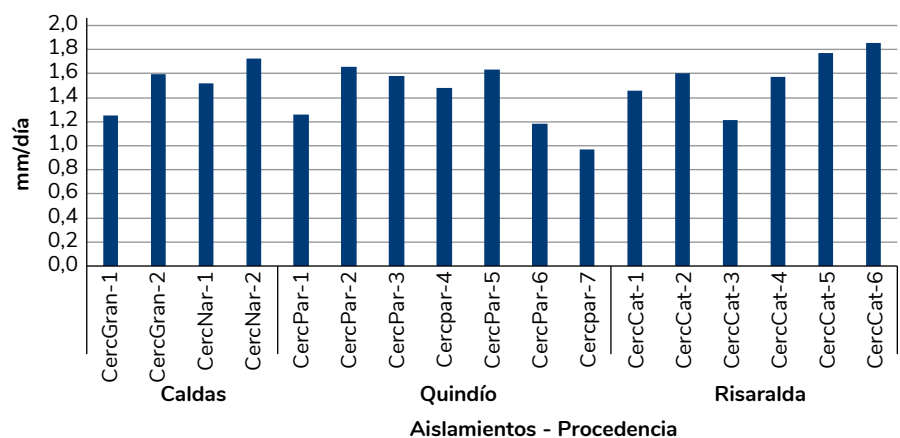


Figura 39. Tasa de crecimiento de las colonias de *C. coffeicola* por procedencia.

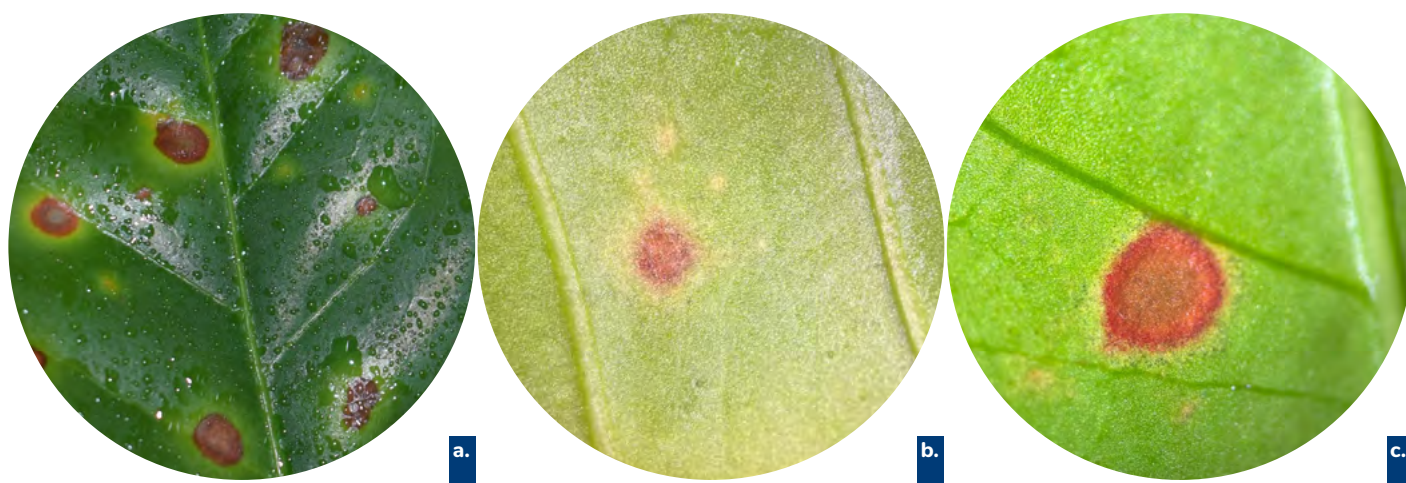


Figura 40. Síntomas inducidos en hojas de café de la variedad caturra inoculadas con *Cercospora coffeicola*. **a.** Lesiones cloróticas (cl) y lesiones necróticas (n); **b.** Lesiones características de mancha de hierro (típicas), **c.** Manchas de color marrón (m) y micelio de *C. coffeicola* creciendo epifíticamente sobre la hoja (h).

Identificación de fuentes de resistencia a *Hemileia vastatrix* usando marcadores moleculares en genotipos de café. PAT105006

La alta variabilidad genética de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) amenaza las variedades resistentes, evidenciada por pérdidas parciales de resistencia en Colombia y la necesidad urgente de identificar nuevos genes. La falta de marcadores moleculares específicos ha obstaculizado el desarrollo rápido de variedades resistentes.

Para abordar esta problemática, World Coffee Research (WCR) lanzó en 2022 un programa global de mejoramiento de café arábica, en colaboración con nueve organizaciones, incluido el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)-ARS. Este programa se centra en la recombinación de germoplasma, ciclos

generacionales rápidos y selección genómica para mejorar la productividad.

Desarrollar marcadores moleculares modernos para la resistencia a la roya permitiría la selección asistida por marcadores, identificando individuos resistentes sin la presencia del patógeno e integrándose en los paneles de marcadores de densidad media del WCR.

El proyecto conjunto entre Cenicafé, WCR y el USDA-ARS inició en el 2025 y busca identificar nuevas fuentes de resistencia a la roya, desarrollar marcadores genéticos asociados y crear estrategias para un desarrollo eficiente de variedades de café arábica con resistencia duradera. Actualmente, se han sembrado plantas F2 de las poblaciones seleccionadas para fenotipificación y enviado material para genotipificación a CD Genomics en Australia, el cual utilizará un panel DArT de densidad media con 4.000 marcadores SNP, el cual está siendo validado por WCR y otras siete instituciones.

Evaluación del efecto bioherbicida de ácidos orgánicos obtenidos a partir del mucílago del café. FIT101006

Con el objetivo de evaluar el efecto de fuentes de ácidos orgánicos obtenidos del mucílago del café como bioherbicida para el control de arvenses, se desarrolló la segunda etapa de esta investigación bajo condiciones controladas en casa de malla en la sede Planalto de Cenicafé. Esta fase comprendió la caracterización botánica de las arvenses y la evaluación tanto del control como de la persistencia alcanzada sobre el manejo de las arvenses, en estado de crecimiento activo. Los tratamientos fueron: (T1) filtrados fermentados de las mieles del Ecomill®, (T2) filtrados fermentados de las aguas de la primera cabeza de lavado del tanquetina®, (T3) ácido acético al 20%, (T4) ácido cítrico al 10%, (T5) mezcla de ácido acético al 20% + ácido cítrico al 10%, (T6) herbicida glufosinato de amonio (testigo relativo) en dosis de 10 mL L⁻¹ y (T7) testigo absoluto sin aplicación.

Las arvenses registradas durante las observaciones se clasificaron como especies de tipo “hoja ancha” (eudicotiledóneas) (67,4%) y “hoja angosta” (monocotiledóneas) (32,6%). Así mismo, se determinó que la especie *Panicum laxum* representó el 68,57% del total de los registros (Figura 41). El nivel de interferencia de las especies de arvenses con el cultivo del café, el 34,31% fue alta, el 9,37% fue media y el 12,50% nivel bajo, mientras que el 40,62% son especies de arvenses nobles.

Se evaluó la aplicación foliar de los tratamientos con mediciones del porcentaje de control (variable de



respuesta) por medio de la estimación digital del porcentaje de Cobertura Verde Fraccional del Dosel (CVFD) de las especies de arvenses, en cuatro momentos (3, 7, 14 y 21 días después de la aplicación). El mayor porcentaje de control de las arvenses, entre 17% y 35%, hasta 21 días después de la aplicación respecto al testigo absoluto, se obtuvo para T1, T2 y T6, según la estimación digital del porcentaje de Cobertura Verde Fraccional del Dosel (CVFD) (Figura 42).

Estimación de los porcentajes de distribución de la cosecha de café con base en los registros de floración. FIT102021

El registro permanente de las floraciones de café es una actividad que se realiza en las estaciones experimentales de Cenicafé, para la estimación de la distribución de la cosecha en cada año, esta información es clave para apoyar decisiones en el manejo de problemas fitosanitarios del cultivo de café, la planificación de las labores de recolección en cada región y recomendaciones asociadas con alertas tempranas, las cuales se presentan en el Boletín Agrometeorológico Cafetero publicado mensualmente por Cenicafé. Para la evaluación se contó el número de flores en etapa de preantesis sobre 60 árboles seleccionados en un lote en producción, tomando dos ramas productivas por cada árbol. Con la información registrada en cada fecha de muestreo, se estimó el total de flores y el porcentaje correspondiente en cada período. En la Tabla 21 se resume la información correspondiente a los registros y la proyección de la distribución de la cosecha para el año 2025, alrededor de 32 semanas después de la floración.

Para la interpretación de la correspondencia de los períodos de floración con los períodos de cosecha, se agruparon las floraciones que ocurrieron entre los meses de mayo a octubre como las responsables de la cosecha del primer semestre, y las floraciones que ocurrieron desde noviembre hasta el mes de abril, como las responsables de la cosecha del segundo semestre. Los registros indican para las zonas Norte y Centro del país el período de mayor cosecha entre los meses de octubre y diciembre de 2025, destacándose el mes de octubre, aunque en la zona Central cafetera, Líbano y Paraguaquito presentan un patrón de distribución de la cosecha repartida en los dos semestres, con eventos importantes de cosecha entre abril y mayo, y en

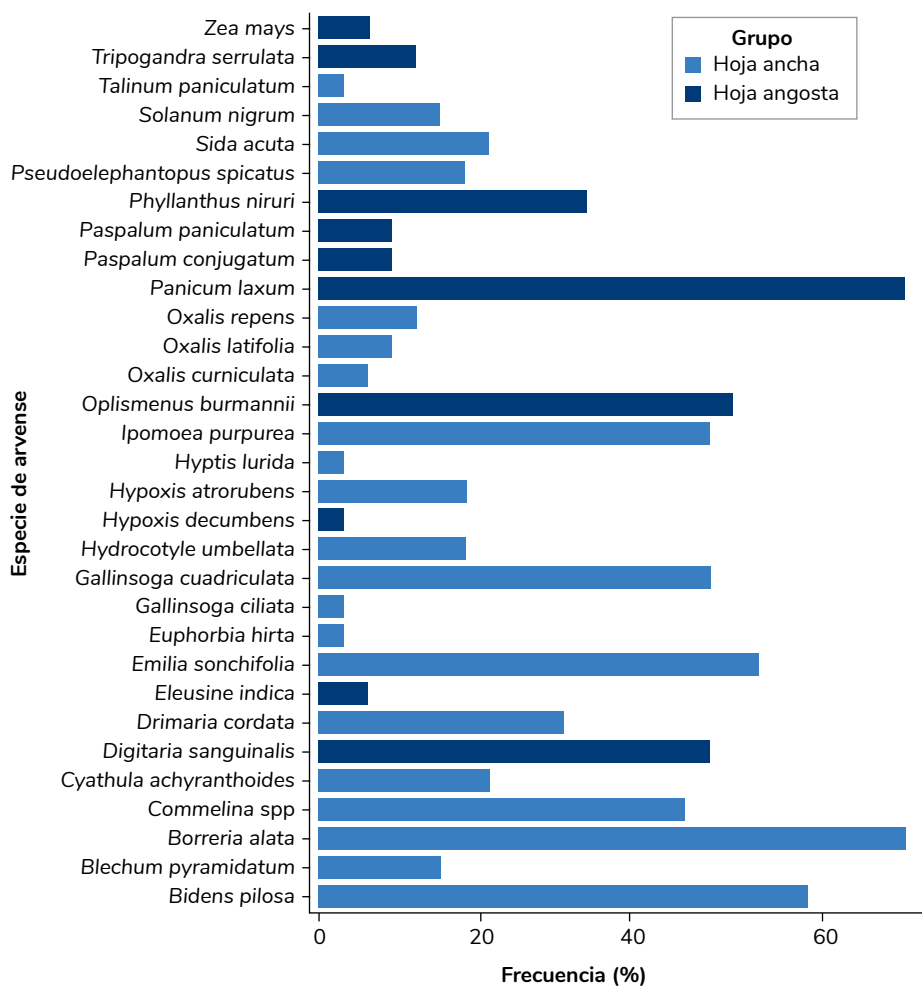


Figura 41. Frecuencia de las especies de arvenses en las unidades experimentales en relación con el tipo de hoja (hoja ancha: eudicotiledónea, hoja angosta: monocotiledónea).

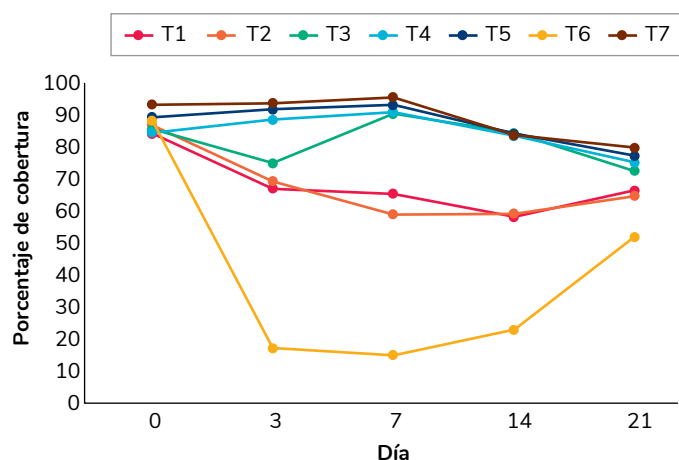


Figura 42. Porcentajes de cobertura verde fraccional de las arvenses, asociados a cada tratamiento respecto a los días después de la aplicación. **T1:** filtrados fermentados de las mieles del Ecomill®, **T2:** filtrados fermentados de las aguas de la primera cabeza de lavado del tanque-tina®, **T3:** ácido acético al 20%, **T4:** ácido cítrico al 10%, **T5:** mezcla de ácido acético al 20% + ácido cítrico al 10%, **T6:** glufosinato de amonio (testigo relativo) y **T7:** sin aplicación (testigo absoluto).

los meses de septiembre y octubre. Mientras que la zona Sur presentó la cosecha principal entre marzo y junio.

Evaluación de densidades de siembra con la variedad Cenicafé 1. FIT102027

Con el objetivo de definir la densidad de siembra en la que se registra la mayor producción de café con la variedad Cenicafé 1, se está realizando la evaluación en dos localidades contrastantes; la Granja Blonay (Norte Santander) y la Estación Experimental El Tambo (Cauca). Sitios con condiciones climáticas, que determinan diferentes sistemas de producción, a libre exposición solar para El Tambo y sistema agroforestal con sombrío de la especie *Albizia carbonaria* en la granja Blonay, bajo un arreglo de 12 x 12 m, para una densidad de 70 árboles de sombra por hectárea. Las densidades de siembra del café (tratamientos) evaluadas son 5.000, 7.500 y 10.000 plantas/ha establecidas en parcelas de 300 m².

La producción acumulada de café cereza por parcela, desde el 15 de noviembre de 2019 hasta el 23 de diciembre de 2024 en Blonay, para la densidad de 5.000 plantas/ha, registró la menor producción promedio acumulada, alrededor de 1.016 kg de café cereza con 7.500 plantas/ha (1.722 kg), en comparación de 1.657 kg con 10.000 plantas/ha (Figura 43). El Tambo con registros de producción desde el 15 de octubre de 2020 hasta el 16 de julio de 2025, presentó la menor producción promedio acumulada de 1.566 kg de café cereza por parcela con 5.000 plantas/ha en comparación con 10.000 plantas/ha (2.106 kg), mientras que con 7.500 plantas/ha se reportó una producción intermedia de 1.836 kg (Figura 44).

Evaluación del efecto de la distribución de fertilizantes en función de la edad de la planta sobre la producción de café. FIT102032

El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la distribución de los fertilizantes en función de la edad de la planta en la producción de café. Este estudio

Tabla 21. Proyección de la distribución mensual de la cosecha de café en el año 2025 con base en los registros de floración.

Mes floración	Mes cosecha	Distribución de la cosecha 2025 (%)							
		El Rosario	El Tambo	La Catalina	La Trinidad	Naranjal	Paraguaicito	Santander	Pueblo Bello
may-24	ene-25	1,6	4,8	0,7	5,3	2,4	1,2	0,2	0,0
jun-24	feb-25	0,4	2,6	2,2	4,4	3,4	2,8	0,1	0,0
jul-24	mar-25	1,8	1,3	1,2	2,0	1,2	1,9	0,7	0,0
ago-24	abr-25	28,2	17,1	3,3	16,9	4,4	15,8	0,1	0,0
sep-24	may-25	0,9	0,0	14,5	18,3	6,3	20,3	0,1	0,0
oct-24	jun-25	0,2	68,2	5,8	4,6	13,5	2,4	0,5	0,0
nov-24	jul-25	0,0	0,2	17,6	10,2	11,1	2,7	9,1	0,0
dic-24	ago-25	4,5	0,4	3,2	2,6	11,7	1,4	0,8	0,0
ene-25	sep-25	3,2	0,0	6,0	15,7	7,4	0,8	31,4	0,0
feb-25	oct-25	41,9	1,3	27,7	12,9	26,2	31,9	51,5	0,0
mar-25	nov-25	3,9	0,3	1,7	1,5	4,9	6,2	1,8	77,4
abr-25	dic-25	13,3	3,8	16,1	5,6	7,5	12,6	3,6	22,6

se estableció en las Estaciones Experimentales Naranjal y El Tambo donde se evalúan tres distribuciones de fertilizantes definidas según la edad, y comparadas con un testigo, que se basa en las recomendaciones actuales (Tabla 22). La cantidad de fertilizantes se definió con los resultados de análisis de suelo para cada localidad. La variable de respuesta es la producción acumulada de café cereza durante el ciclo productivo y, adicionalmente, en Naranjal se lleva el registro de medidas de crecimiento y componentes de producción. En el avance del experimento se muestran resultados finales para Naranjal luego de aplicar los tratamientos durante todo el ciclo productivo desde los 18 hasta 54 meses después de la siembra-MDS. La aplicación de los fertilizantes en cada edad consideró la época recomendada y el fraccionamiento de los fertilizantes según las recomendaciones desarrolladas para cada localidad.

Para las medidas de crecimiento evaluadas no hubo cambios en las

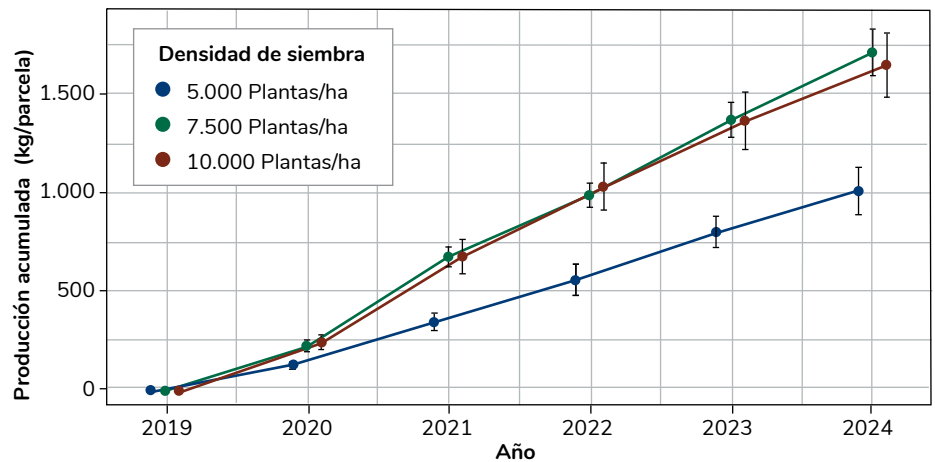


Figura 43. Producción promedio acumulada en kilogramos de café de cereza por parcela de 300 m², correspondiente a tres densidades de siembra de la variedad Cenicafé 1 en la Granja Blonay (Norte de Santander). Cada punto representa la media y las barras verticales corresponden al error estándar.

magnitudes de la relación de área foliar por fruto a nivel de rama, número de hojas por rama y longitud de la rama entre los tratamientos, pero sí se observaron disminuciones según la edad de la planta. Se reporta una relación de área foliar por fruto de 4,24 cm² en promedio, 19 hojas por rama y longitud de rama de 62,92 cm a los 43 - 53 MDS en comparación con lo registrado entre los 18 a 24 MDS con valores promedio de 16,61 cm², 26 hojas por rama y 84,94 cm de longitud de rama, respectivamente (Figura 45).

En cuanto a la producción acumulada de café cereza por parcela desde los 18 hasta 47 MDS, se demostró que no hay efectos estadísticos entre

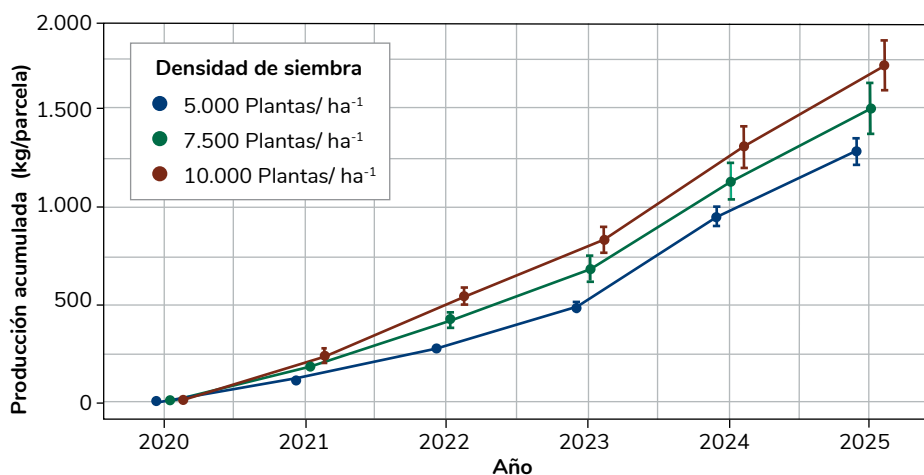


Figura 44. Producción promedio acumulada en kilogramos de café de cereza por parcela de 300 m², correspondiente a tres densidades de siembra de variedad Cenicafé 1 en Estación El Tambo (Cauca). Cada punto representa la media y las barras verticales corresponden al error estándar.

Tabla 22. Distribución de fertilizantes (tratamientos) calculados según los resultados de los análisis de suelo para las edades entre 18 hasta 54 meses después de la siembra en el campo-MDS en la Estación Experimental de Naranjal.

Tratamiento	Distribución de fertilizante (%)			
	Edad de plantación (MDS)			
	18 - 24	30 - 36	42 - 47	54
T1 (Testigo)	100% (1.460 kg ha ⁻¹)*	100% (1.460 kg ha ⁻¹)	100% (1.337 kg ha ⁻¹)	50% (669 kg ha ⁻¹)
T2	100%	↑ (40%) 140%	↓ (20%) 80%	↓ (20%) 30%
T3	↓ (20%) 80%	100%	↑ (20%) 120%	50%
T4	↓ (20%) 80%	↑ (20%) 120%	↑ (20%) 120%	↓ (20%) 30%

*Cantidad total de fertilizantes (Urea + DAP + KCL + Kieserita) aplicados en el testigo con base en el análisis de suelo y requerimientos nutricionales del cultivo. Flechas rojas denotan disminución de la cantidad de fertilizante y flecha verdes aumentos en relación con el testigo.

los tratamientos, reportándose en promedio una producción de 249,01 kg ± 9,67 error estándar (Figura 46). Este mismo resultado se determinó en las medidas de componentes de producción como número de frutos por rama, porcentaje de vaneamiento (cantidad de flotes) y relación de café cereza para la obtención de 1,0 kg de café pergamino seco, en el que se reporta de manera general en promedio 116 frutos por rama, 3,46% de vaneamiento y una relación de café cereza de 4,6 (Figura 47). En conclusión, con el tiempo acumulado hasta el momento, distribuir los fertilizantes en relación con la edad de la planta, no promueve cambios en la producción respecto al testigo. Sin embargo, falta recopilar la información de producción a partir de los 54 MDS.

Evaluación del efecto del peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en la brotación de las zocas bajo diferentes condiciones ambientales. FIS103006

Bajo condiciones de campo puede observarse que una fracción de zocas no rompe la latencia (no hay brotación) o lo hace tarde, lo que promueve la pérdida de sitios y menor productividad. De esta manera, se evaluó el efecto del peróxido de

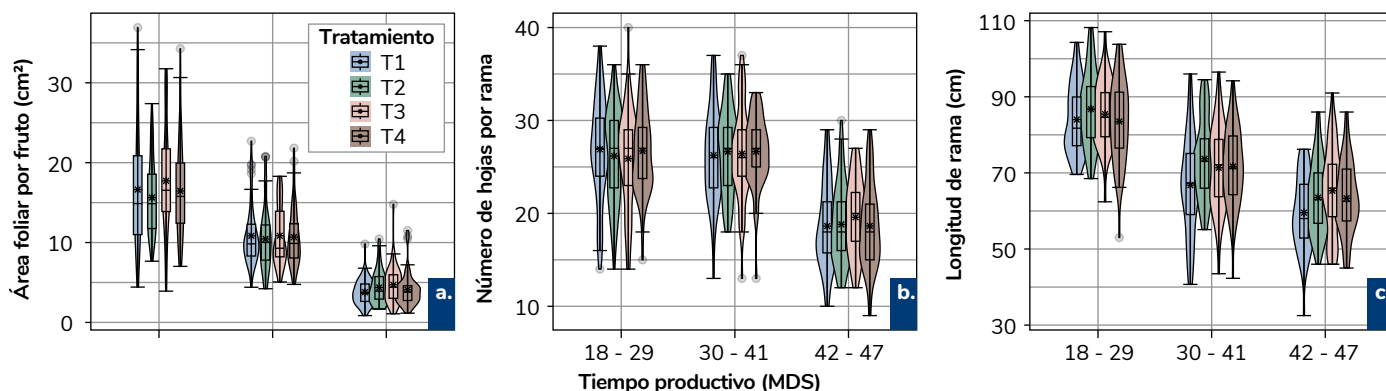


Figura 45. Medidas de crecimiento evaluadas en los árboles con diferente distribución de fertilizantes aplicados según la edad de plantación, en meses después de la siembra-MDS para la Estación Experimental de Naranjal. Se midió la relación del área foliar por fruto en la rama (1a), el número de hojas totales por rama- (1b) y longitud de la rama (1c). Cada asterisco corresponde a la media (n= 30).

hidrógeno (H₂O₂) sobre la aceleración de la ruptura de la latencia y la emisión de brotes (chupones) durante los tres meses posteriores al corte del tallo (zoca), en progenies que conforman la Variedad Castillo® zona Sur. Se probaron cuatro dosis preparadas desde una solución comercial al 50 % v/v (TTO1: 0,071, TTO2: 0,214, TTO3: 0,500 y TTO4: 0,357 µmol) y un tratamiento testigo sin aplicación de peróxido de hidrógeno. La unidad experimental la

conforma la parcela con 110 zocas y en cada tratamiento se establecieron cinco parcelas bajo un diseño experimental completamente aleatorio. Las aspersiones se realizaron por medio de una bomba de espalda con un volumen de aplicación de 100 mL por zoca. Luego, a todos los tratamientos se les aplicó pintura protectora para evitar problemas fitosanitarios. Finalmente, para determinar el efecto del peróxido de hidrógeno, se registró la fecha de emisión, ocurrencia (1/0) y número de brotes por zoca semanalmente.

Preliminarmente, se reporta que la ruptura de la latencia de los brotes en las zocas fue efectiva con un 93,5% en promedio, al finalizar los tres meses con TTO1 (0,071µmol), TTO2 (0,357µmol) y TTO3 (0,5µmol) en comparación con el testigo, cuyo porcentaje final de brotación fue del 62,36%. El TTO4 (0,214µmol) fue en detrimento de la ruptura de la latencia con un 52,74% de brotación, lo que equivale a 9,62 puntos porcentuales por debajo del testigo. También se destaca el efecto que tiene el TTO3 como tratamiento acelerador de la ruptura de la latencia en todas las progenies, en comparación con los otros tratamientos y el testigo (Figura 48).

En cuanto a la tasa de emisión de los brotes se encontró que hay diferencias significativas en relación con los tratamientos (df = 16, µ₂= 88,9 y p = 2,57x10⁻¹²). Puede observarse en la Tabla 23 que el TTO1 correspondiente a la dosis de 0,071 µmol, mantuvo constantemente una tasa elevada de emisión de chupones a través del tiempo, mientras que el TTO3 (0,5 µmol) y TTO2 (0,357 µmol) mostraron fluctuaciones en las tasas para el cuartil 50 (disminución porcentual de la tasa). El TTO4 (0,214 µmol) manifestó ser inhibidor de la tasa de brotación, manteniendo valores inferiores de porcentaje durante todo el tiempo de evaluación en comparación con el testigo.

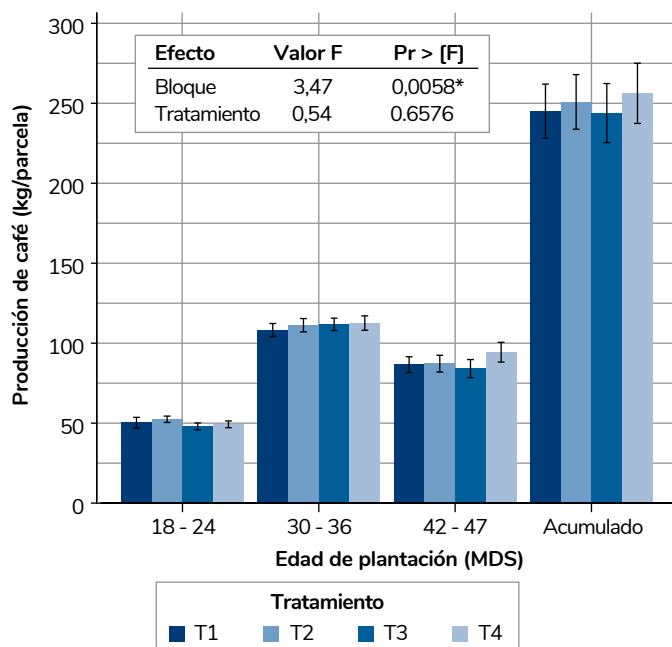


Figura 46. Producción de café cereza por parcela (52 m²) con diferente distribución de fertilizantes aplicados según la edad de plantación, en meses después de la siembra-MDS para la Estación Experimental de Naranjal. Cada asterisco corresponde a la media (n= 10). El cuadro dentro de la figura muestra los valores del efecto significativos de los tratamientos y diseño experimental mediante un análisis de modelo lineal generalizado ajustado a una distribución Gamma.

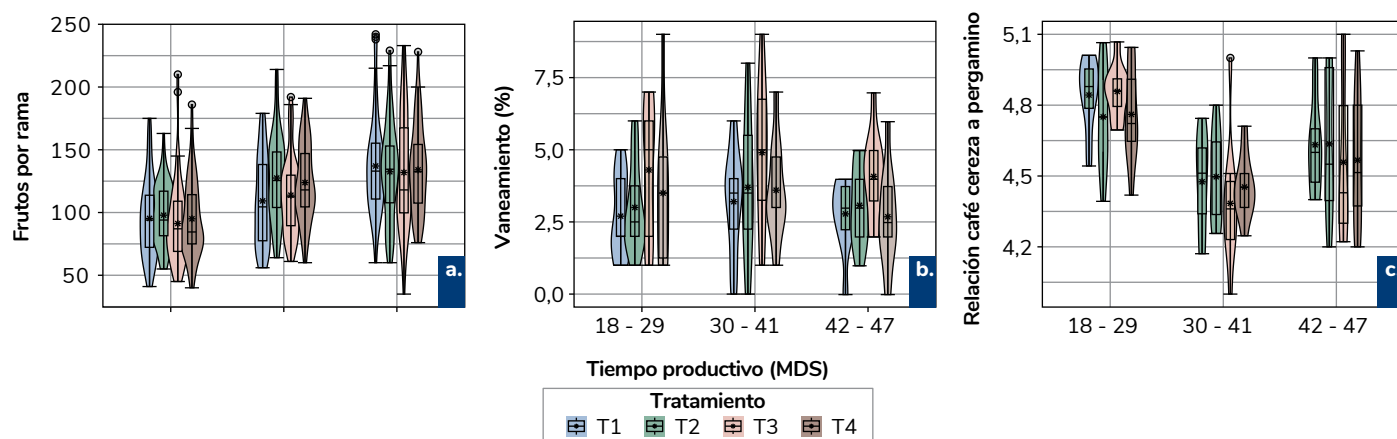


Figura 47. Medidas de componentes de producción con diferente distribución de fertilizantes aplicados según la edad de plantación, en meses después de la siembra-MDS para la Estación Experimental de Naranjal. Se registró el número de frutos por rama (3a), el porcentaje de frutos vaneados o flotes (2b) y la relación de kilogramos de café cereza para la obtención de un kilogramo de café pergamino seco (2b). En la medida de frutos por rama, cada asterisco corresponde a la media (n= 30), mientras que para vaneamiento y relación café cereza a pergamino la media es n=10.

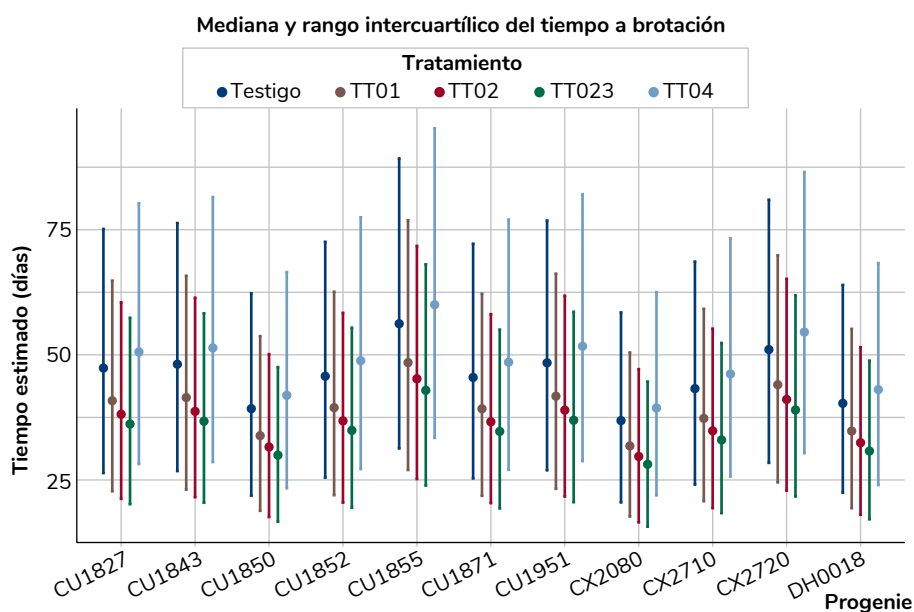


Figura 48. Medianas y rango intercuartílico del tiempo de brotación en días, estimados a partir del análisis jerárquico paramétrico y bayesiano de Weibull.

Evaluación de ciclos de producción en cafetales con podas calavera en parcelas semicomerciales. FIT103010

Los métodos alternativos de renovación de cafetales con poda calavera han sido recomendados como estrategia para organizar las edades de los lotes y estabilizar la producción, en casos donde una alta proporción del área cultivada se encuentra envejecida y no existe una división por lotes con diferentes edades. Este tipo de poda permite obtener dos cosechas y se realiza por una sola vez en un mismo lote, para luego continuar con renovaciones por zoca. El uso recurrente de estas podas puede ocasionar un mayor número de años improductivos a razón de los cortos períodos de producción.

Tabla 23. Dinámica de la tasa de formación de chupones por tratamiento, y su respectivo intervalo de confianza (IC) al 95%, calculado a partir del área bajo la curva de las tasas de crecimiento estimadas según la distribución bayesiana de ceros inflados. Se muestra la dinámica de las medias de las tasas de emisión y el porcentaje de aumento (color verde) o detrimento (color rojo) en relación con el Testigo a los 21(T25), 42(T50), 70(T75) y 92(T100) días. Por último, se señala el porcentaje de superioridad que tiene cada uno de los tratamientos en relación con el testigo.

Tratamiento	Tasa	IC 95%	T0	T25 (21)	T50 (42)	T75 (70)	T100 (92)	Superioridad (%)
Testigo	7,79	[5,17-11,4]	0,006	0,63	3,12	4,73	5,89	NA
TTO1	9,86	[6,73-14,5]	0,013	1,05 (+67%)	3,70 (+18%)	6,62 (+40%)	6,61 (+12%)	82,20
TTO2	8,17	[5,46-12,5]	0,029	0,77 (+23%)	2,80 (-10%)	4,79 (+1%)	5,50 (-7%)	57,60
TTO3	8,90	[6,16-13]	0,021	1,01 (+59%)	3,10 (-1%)	5,35 (+13%)	6,29 (+7%)	71,45
TTO4	5,79	[3,90-8,41]	0,013	0,55 (-12%)	2,11 (-32%)	3,57 (-24%)	4,83 (-18%)	-13,7

Con el objetivo de evaluar el método de poda calavera en ciclos recurrentes de una y dos cosechas, en la Estación Naranjal en un lote de variedad Castillo® proveniente de siembra, se seleccionaron tres parcelas de 400 m² para implementar los diferentes tipos de renovación. La parcela número 1, corresponde a la poda calavera con descope del tallo a 1,70 m, despunte de ramas a 20 cm y renovación recurrente cada tres años, la parcela número 2 corresponde a la intervención con poda calavera, descope del tallo a 1,70 m, despunte de ramas a 40 cm y renovación recurrente cada dos años, por último, la parcela número 3 corresponde a zoca común con renovación cada 5 años. En el estudio se registran de forma independiente las variables producción en kilogramos de café cereza por parcela y las labores

de manejo agronómico en unidades de servicio. Los avances de los resultados en producción acumulada de café cereza por siete años de estudio, incluido el período de crecimiento, muestran incremento en la producción con la poda calavera recurrente a dos cosechas, respecto a la producción registrada con los métodos de renovación de poda calavera recurrente a una cosecha y zoca común con períodos de cuatro cosechas (Figura 49).

Evaluación de la producción de café con métodos de renovación a través de podas calavera y pulmón, recurrentes. FIT103011

Con el objetivo de evaluar el efecto sobre la producción de café al realizar de manera recurrente renovaciones

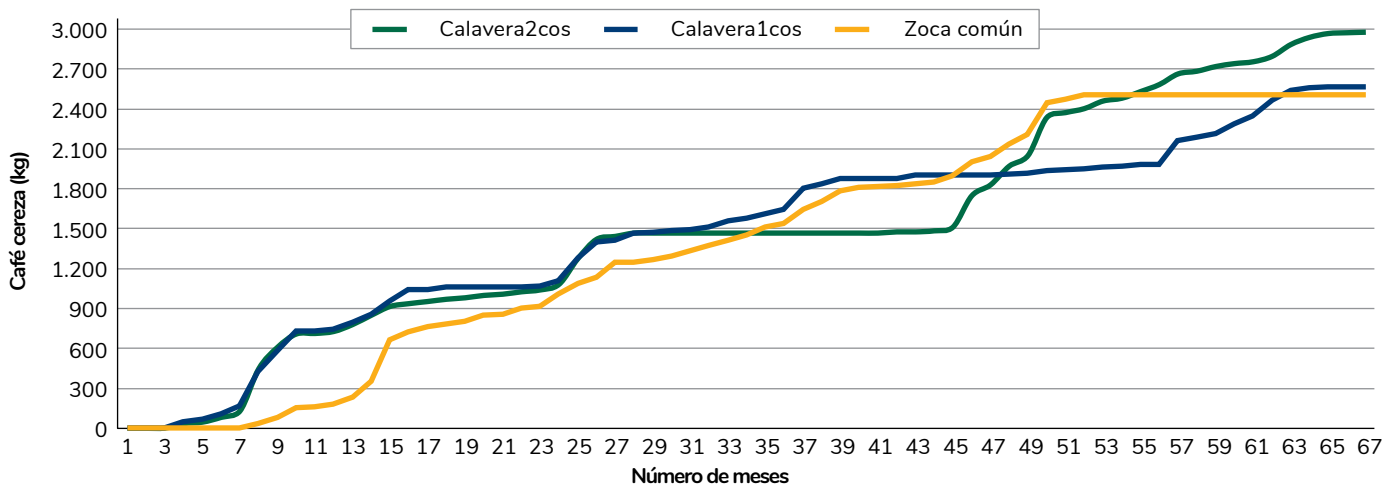


Figura 49. Producción acumulada en kilogramos de café cereza por parcela.

con este tipo de podas, se establecieron parcelas experimentales en tres localidades, El Tambo – Cauca, Líbano – Tolima y Pueblo Bello – Cesar. Las podas, calavera y pulmón, son intervenidas al culminar períodos de producción de máximo dos cosechas y la zoca común en ciclos de producción de cuatro cosechas, hasta completar un período de 12 años, siguiendo los métodos y tratamientos que se describen en la Tabla 24 El efecto de los tratamientos se evalúa bajo el diseño experimental bloques completos al azar, con ocho bloques, cada parcela experimental cuenta con un área de 147 m² en El Tambo, 144 m² en Líbano y 67 m² en Pueblo Bello.

El número de años productivos registrados en las localidades El Tambo y Líbano fue de cuatro para los tratamientos 1, 4 y 5; tres años en el tratamiento

2, y cinco años en los tratamientos 3, 6 y 7. Pueblo Bello registró un total de cuatro años de producción acumulada en los tratamientos 1, 3, 4, 5 y 6; tres años en el tratamiento 2, y cinco años en el tratamiento 7. La producción acumulada en el número de años productivos (Tabla 25), mostró diferencias estadísticas según la prueba de comparación de Dunnett ($\alpha=0,05$), entre la poda calavera con períodos de dos cosechas (tratamiento 1) y una cosecha (tratamiento 2), además de la alternancia con zoca común (tratamiento 3), respecto al tratamiento 7 de zoca común en El Tambo – Cauca. En Líbano – Tolima, los tratamientos de poda calavera con dos cosechas (tratamiento 1) y la alternancia con zoca común (tratamiento 3), también presentaron diferencias estadísticas respecto al tratamiento 7 de zoca común.

Tabla 24. Descripción de los métodos de renovación, número de cosechas por período productivo y total de cosechas acumuladas por cada tratamiento.

Año	Tratamiento	1 Calavera	2 Calavera	3 Calavera–Zoca	4 Pulmón 60	5 Pulmón 90	6 Pulmón–Zoca	7 Zoca Común
1		Intervención calavera	Intervención calavera	Intervención calavera	Intervención poda pulmón	Intervención poda pulmón	Intervención poda pulmón	Intervención zoca común
2		1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha
3		2ª cosecha	Intervención calavera	2ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha
4		Intervención calavera	1ª cosecha	Intervención zoca común	Intervención poda pulmón	Intervención poda pulmón	Intervención zoca común	3ª cosecha
5		1ª cosecha	Intervención calavera	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	4ª cosecha
6		2ª cosecha	1ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha	2ª cosecha	Intervención zoca común
7		Intervención calavera	Intervención calavera	3ª cosecha	Intervención poda pulmón	Intervención poda pulmón	3ª cosecha	1ª cosecha
8		1ª cosecha	1ª cosecha	4ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	4ª cosecha	2ª cosecha
9		2ª cosecha	Intervención calavera	Intervención calavera	2ª cosecha	2ª cosecha	Intervención poda pulmón	3ª cosecha
10		Intervención calavera	1ª cosecha	1ª cosecha	Intervención poda pulmón	Intervención poda pulmón	1ª cosecha	4ª cosecha
11		1ª cosecha	Intervención calavera	2ª cosecha	1ª cosecha	1ª cosecha	2ª cosecha	Intervención zoca común
12		2ª cosecha	1ª cosecha	Intervención zoca común	2ª cosecha	2ª cosecha	Intervención zoca común	1ª cosecha
Total cosechas		8	6	8	8	8	8	9

Tabla 25. Producción acumulada en kilogramos de café cereza por parcela en aproximadamente siete años de evaluación.

Tratamientos	El Tambo		Líbano		Pueblo Bello	
	Promedio	EE	Promedio	EE	Promedio	EE
1	989,92*	42,73	849,28*	27,62	259,51	27,43
2	958,61*	41,83	728,31	29,96	203,98	28,47
3	1.095,33*	43,27	909,71*	47,05	202,00	17,98
4	720,96	50,81	625,01	38,44	213,46	24,86
5	834,76	75,84	751,22	42,66	225,78	19,74
6	808,23	52,57	708,20	56,73	175,63	18,97
7	696,90	42,96	586,68	49,61	264,04	28,13

* Indica diferencias significativas según la prueba de comparación de medias de Dunnett con un nivel de significancia de 0,05 respecto al tratamiento 7, EE es el error estándar de la media.

Mejoramiento Genético



Subprograma MEG101. Desarrollo de métodos y herramientas para mejoramiento genético

Evaluación de marcadores microsatélites asociados a los SNPS CK-2 Y CK-3 de resistencia al CBD (*Colletotrichum kahawae* sub. sp. *kahawae*). MEG101004

En ausencia de la enfermedad de las Cerezas del Café (CBD) en Colombia, la única alternativa para avanzar en la selección de genotipos con resistencia al patógeno es mediante el uso de marcadores genéticos asociados a los genes de resistencia a *Colletotrichum kahawae*. En estudios previos, se reportó la identificación de dos marcadores microsatélites putativamente relacionados con la resistencia a *C. kahawae* derivada de la variedad Rume Sudán.

Durante este año, la población F₂, resultante del cruzamiento IAPAR 59 x Rume Sudán (1427), fue fenotipificada en el Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC, Portugal). Esta se llevó a cabo utilizando tres aislamientos del hongo: Angola (Ang29), Camerún (Cam1) y Kenia (Que2), que difieren no sólo genéticamente, sino también por su nivel de agresividad. Como testigos susceptibles se incluyeron las variedades IAPAR 59 y Caturra, mientras que Rume Sudán se empleó como testigo resistente.

En el testigo resistente se observó baja resistencia frente a los aislamientos Ang29 y Cam1 (30,8% y 36,1%, respectivamente) y alta resistencia frente al aislamiento Que2 (92%). En la población F₂, los aislamientos de Angola y Camerún redujeron significativamente los niveles de resistencia, agrupando la mayoría de las plantas

en las categorías de muy baja y baja resistencia. Por el contrario, frente al aislamiento Que2, el 61% de las plantas mostró resistencia moderada y una planta alcanzó un nivel de alta resistencia (82,9%). Estos resultados evidencian diferencias en la presión patogénica entre los aislamientos evaluados, siendo Ang29 y Cam1 más agresivos que Que2.

Subprograma MEG102.

Mejoramiento por resistencia a enfermedades

Desarrollo y evaluación de poblaciones con resistencia a roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Broome) derivada del híbrido de Timor. MEG102023

La resistencia a la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) es uno de los objetivos básicos para los programas de mejoramiento genético debido a su impacto negativo sobre los sistemas productivos. El Híbrido de Timor ha sido la fuente de resistencia por excelencia, dado que reúne en una misma planta al menos cinco genes de resistencia a la enfermedad, en ocasiones acompañada de otras características de interés agronómico. Este potencial se ve reflejado en el hecho de que solo para Colombia, una planta ha dado origen a más de 80 progenies que han sido componentes de las variedades usadas en la caficultura colombiana. Plantas originadas a partir de la introducción inicial, seleccionadas por su potencial agronómico y conservadas en la Colección Colombiana de Café han mostrado después de más de 25 años de evaluación estar completamente libres de la enfermedad, característica posiblemente ligada a la presencia de genes de resistencia diferentes a los ya empleados en la caficultura colombiana. Once poblaciones F₂ se desarrollaron a partir de estos genotipos, seis de las cuales fueron evaluadas para tres variables de crecimiento y la incidencia de roya. En las poblaciones F₂, a pesar de ser las plantas de porte alto eliminadas en etapa de almácigo, la altura promedio difirió estadísticamente de la variedad Cenicafé 1 (Figura 1), acompañado de un mayor número de pares de ramas (Figura 2). En el caso de la resistencia a la roya, después de cuatro evaluaciones el 35% de las plantas que conforman la población están libres de la enfermedad, mientras en el 46% presentan los valores

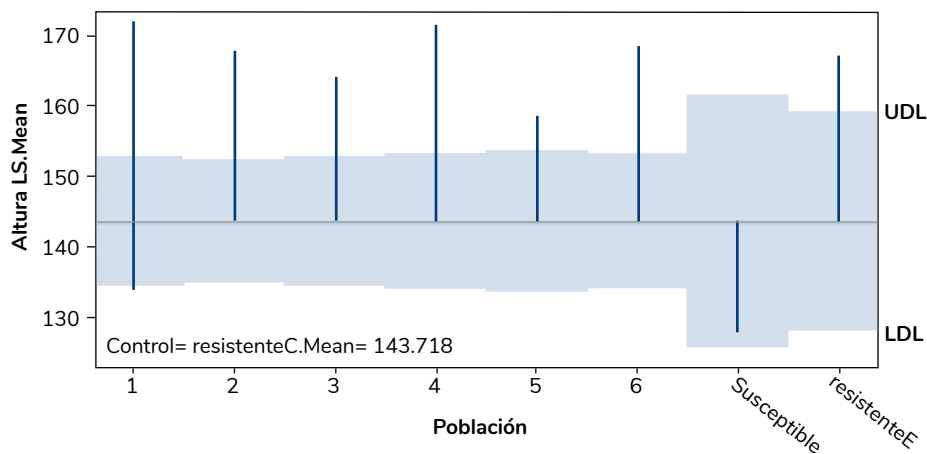


Figura 50. Medias ajustadas para la variable altura (cm) en plantas de 24 meses, pertenecientes a seis poblaciones F_2 derivadas del cruzamiento con el híbrido de Timor 1343 I.573, comparado con el valor promedio de la variedad Cenicafé 1. Los valores de la variedad Caturra y un derivado de HIE establecidos dentro del lote experimental son incluidos. El área sombreada indica los límites de confianza al 95% ajustados con la prueba de Dunnett.

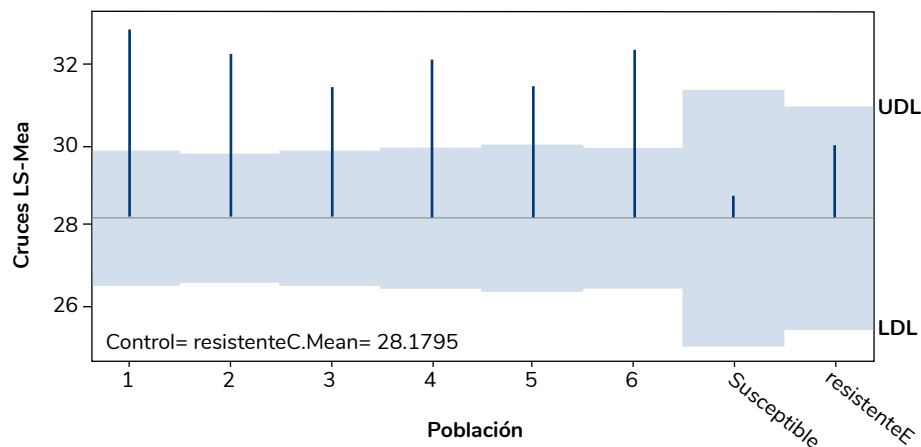


Figura 51. Medias ajustadas para la variable número de cruces (pares de ramas) en plantas de 24 meses pertenecientes a seis poblaciones F_2 derivadas del cruzamiento con el Híbrido de Timor 1343 I.573, comparado con el valor promedio de la variedad Cenicafé 1. Los valores de la variedad Caturra y un derivado de HIE establecidos dentro del lote experimental son incluidos. El área sombreada indica los límites de confianza al 95% ajustados con la prueba de Dunnett.

más bajos de evaluación, los cuales indican la presencia de la enfermedad, siendo difícilmente apreciable (Tabla 26). El análisis de los datos obtenidos en las poblaciones indica la posibilidad de realizar selección por diversos atributos para la creación de las familias F_3 .

Evaluación y selección de progenies originadas a partir de hibridación interespecífica entre *Coffea arabica* x *Coffea canephora* por su resistencia a la roya y desempeño agronómico. MEG102025

Desde el lanzamiento de la variedad Colombia en 1982, el parque cafetero nacional ha incrementado de manera significativa la participación de variedades mejoradas, alcanzando en 2025 un 88% del área sembrada con variedades resistentes a la roya. La resistencia de estas variedades se basa en genes derivados del híbrido de Timor 1343, lo que incrementa el riesgo de aparición

y prevalencia de razas compatibles capaces de vulnerar el esquema de resistencia. La presente investigación tiene como objetivo incorporar genes de resistencia a *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome provenientes de *Coffea canephora*, los cuales no han sido previamente expuestos en el país. Esta investigación contribuirá a fortalecer la estrategia de diversidad genética del parque cafetero, garantizando la durabilidad de la resistencia en condiciones de campo.

Para esto se está evaluando el desempeño de 88 familias F_3RC_2 , provenientes de cuatro cruzamientos complejos que involucran Caturra Rojo, Borbón resistente a llaga macana y diferentes variedades de *C. canephora* robusta de la Colección Colombiana de Café, que mostraron alta adaptación a las condiciones de la caficultura colombiana. Los resultados muestran que el 73% de las familias evaluadas son altamente resistentes a la roya, cumpliendo con el parámetro de selección establecido, donde al menos el 80% de las plantas de cada familia presentaron valores de incidencia máxima iguales o menores a 3 en la escala de Eskes & Toma-Braghini. Sobresalen las familias MEG6.73 #237 y MEG6.73 #37, con el 96% y 92% de sus plantas, respectivamente, en grado cero de ataque en todas las evaluaciones, demostrando un enorme potencial. En contraste, el testigo susceptible Caturra solo tuvo un 4% de sus plantas con valores inferiores a 3, evidenciando su alta susceptibilidad (Tabla 2).

Al analizar la producción registrada entre marzo de 2024 y junio de 2025, el 64% de las familias (57 en total) mostraron una diferencia significativa y positiva en comparación con el testigo de referencia Cenicafé 1. El promedio general de producción fue de 6,6 kg de café cereza por planta, superando los 4,37 kg CC del testigo. Familias como MEG6.73 #612, MEG6.73 #112 y MEG6.73 #64 se destacaron con promedios superiores a 8 kg por árbol (Tabla 2).

Tabla 26. Incidencia de roya en seis poblaciones F2 derivadas del cruzamiento con el Híbrido de Timor 1343 I.573.

Población	Cruzamiento	Porcentaje de plantas en cada grupo de incidencia (Escala de Eskes & Braghini)			
		0	1 - 3	4 - 5	>6
1	BH.1181 x HdT 1343 I.573	11%	42%	37%	10%
2	CU.1858 x HdT 1343 I.573	34%	58%	8%	
3	CU.1876 x HdT 1343 I.573	29%	56%	13%	2%
4	CU.1954 x HdT 1343 I.573	29%	48%	22%	1%
5	MEG667 #114 x HdT 1343 I.573	47%	40%	9%	4%
6	MEG667 #131 x HdT 1343 I.573	47%	30%	17%	6%
	Comportamiento de la población F2	35%	46%	16%	3%
	Testigo comercial resistente	18%	20%	42%	20%
	Variedad susceptible			25%	75%

Las variables de crecimiento evaluadas a los 24 meses muestran que los árboles tienen una altura promedio de 170,54 cm, con 16 familias que superaron significativamente la altura del testigo Cenicafé 1 (158,5 cm). En cuanto al diámetro de copa, el promedio general fue de 167,9 cm, y 29 familias mostraron un desarrollo significativamente mayor que el testigo. Además, 20 familias presentaron un mayor número de cruces con respecto a Cenicafé 1 (29,4 cruces) (Tabla 2). Los resultados parciales, demuestran el potencial de las progenies evaluadas para diversificar la base genética de las variedades mejoradas, fortalecer la durabilidad de la resistencia, así como incrementar la productividad en el parque cafetero colombiano.

Desarrollo y evaluación de poblaciones de *Coffea arabica* L. con genes resistencia a la enfermedad de las cerezas CBD (*Colletotrichum kahawae* Waller and Bridge) provenientes de diferentes fuentes. MEG102027

En África, la enfermedad de las cerezas del café (CBD), causada por el hongo hemibiotrófico *Colletotrichum kahawae* Waller & Bridge, se reconoce como el principal factor limitante de la producción de café, debido a que puede generar pérdidas superiores al 80% del rendimiento potencial, comprometiendo la viabilidad económica del cultivo en las zonas afectadas.

De manera anticipatoria, los caficultores colombianos se encuentran preparados ante la eventual introducción del CBD- al país, al disponer de variedades con resistencia conocida a este patógeno. No obstante, resulta fundamental ampliar la base genética de resistencia, incorporando fuentes adicionales frente a los diversos aislamientos reportados de *C. kahawae*.

Con este propósito, desde 2018 se implementó un programa de cruzamientos entre progenies élite resistentes a la roya y germoplasma de diversos orígenes perteneciente a la Colección Colombiana de Café (CCC), cuya resistencia a CBD fue previamente determinada mediante un convenio de cooperación con el Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC, Portugal). Como resultado, se generaron 16 poblaciones mejoradas que actualmente se encuentran en proceso de avance.

Durante este año, se profundizó en el estudio de la genética de la resistencia al CBD en dos poblaciones F₂ con fuentes de resistencia de distintos orígenes (CCC81 y CCC1147), diferentes a la proveniente del híbrido de Timor 1343, base de las variedades mejoradas actualmente liberadas en Colombia. Los resultados obtenidos de la evaluación de 12.411 hipocótilos con tres aislamientos de *C. kahawae* [Angola (Ang29), Camerún (Cam1) y Kenia (Que29)] permitieron:

1. Confirmar, por primera vez con evidencia técnica robusta, la naturaleza poligénica de la resistencia al CBD.
2. Documentar segregación transgresiva en las poblaciones evaluadas, con individuos que superan en resistencia al progenitor donador.
3. Reportar por primera vez, evidencia sólida de la existencia de patotipos de *C. kahawae*, lo que resalta la importancia de desarrollar variedades con una base genética diversa de resistencia para asegurar la durabilidad del control en el campo.

Estos resultados representan un avance estratégico para la caficultura colombiana, al aportar nuevas fuentes de resistencia a ICBD y diversificar la base genética de los genotipos que constituirán futuras variedades mejoradas de café, fortaleciendo la capacidad del país para enfrentar futuras amenazas fitosanitarias y asegurar la sostenibilidad del cultivo.

Tabla 27. Descripción de la producción, variables de crecimiento y resistencia a la roya en las familias F3RC2 evaluadas. PACUM: producción acumulada promedio por árbol en 1,5 años productivos (2024-junio 2025). Promedio de altura del árbol, diámetro de la copa, y número de cruces evaluada a los 24 meses de establecido en el campo. % Resistencia a Roya: porcentaje de árboles resistentes (clasificados con un máximo de roya de 3 de acuerdo con la escala de Eskes & Toma-Braghini).

Familia	PACUM (kg CC árbol)		Altura 24 meses (cm)		D. Copa 24 meses (cm)		N° Cruces 24 meses		% Resistencia Roya ≤ 3
MEG6.73 #612	8,7	***	176,3		176,5	***	31,7		83
MEG6.73 #112	8,5	***	178,5	***	178,8	***	30,2		96
MEG6.73 #64	8,4	***	164,6		154,6		31,5		96
MEG6.73 #172	8,4	***	184,6	***	171,0		33,1	***	96
MEG6.73 #519	8,3	***	173,3		168,3		35,1	***	100
MEG6.73 #65	8,3	***	174,6		172,7		33,4	***	92
MEG6.73 #655	8,3	***	177,8	***	171,9		33,4	***	79
MEG6.73 #178	8,2	***	181,0	***	170,0		32,3		88
MEG6.73 #37	8,1	***	185,4	***	182,7	***	32,3		100
MEG6.73 #240	8,0	***	175,7		174,8	***	32,1		100
MEG6.73 #119	8,0	***	171,0		175,6	***	29,4		100
MEG6.73 #36	8,0	***	181,3	***	175,4	***	34,5	***	71
MEG6.73 #513	7,9	***	172,0		170,9		32,1		74
MEG6.73 #721	7,9	***	175,4		160,0		33,5	***	92
MEG6.73 #679	7,8	***	174,4		180,8	***	31,0		100
MEG6.73 #39	7,8	***	174,2		172,3		32,8		75
MEG6.73 #174	7,8	***	188,8	***	180,6	***	32,8		71
MEG6.73 #31	7,7	***	167,9		167,1		31,5		96
MEG6.73 #113	7,7	***	176,5		178,5	***	31,0		75
MEG6.73 #673	7,7	***	160,6		177,5	***	31,4		54
MEG6.73 #29	7,7	***	182,3	***	178,2	***	33,5	***	95
MEG6.73 #677	7,7	***	171,9		172,1		31,6		100
MEG6.73 #63	7,6	***	160,4		164,6		30,4		88
MEG6.73 #215	7,5	***	184,0	***	188,8	***	30,8		100
MEG6.73 #713	7,5	***	169,2		177,7	***	28,5		96
MEG6.73 #18	7,5	***	173,1		167,9		32,0		75
MEG6.73 #620	7,4	***	172,3		176,9	***	32,6		100
MEG6.73 #657	7,4	***	170,0		161,3		30,4		46
MEG6.73 #718	7,4	***	172,5		173,5		29,5		100

Continúa...

...continuación.

Familia	PACUM (kg CC árbol)		Altura 24 meses (cm)		D. Copa 24 meses (cm)		N° Cruces 24 meses		% Resistencia Roya ≤ 3
MEG6.73 #70	7,4	***	175,6		176,3	***	32,1		96
MEG6.73 #352	7,3	***	167,1		170,6		32,4		75
MEG6.73 #353	7,3	***	172,9		170,8		32,2		83
MEG6.73 #237	7,2	***	166,5		180,4	***	29,9		100
MEG6.73 #181	7,2	***	177,5	***	173,5		29,8		75
MEG6.73 #517	7,2	***	178,8	***	161,7		34,6	***	79
MEG6.73 #511	7,2	***	171,0		167,7		32,9		88
MEG6.73 #185	7,2	***	171,3		178,3	***	31,0		83
MEG6.73 #211	7,1	***	176,3		171,5		31,6		92
MEG6.73 #62	7,0	***	168,9		166,3		33,4	***	100
MEG6.73 #366	7,0	***	161,7		161,0		30,1		96
MEG6.73 #334	7,0	***	168,3		149,4		34,8	***	100
MEG6.73 #680	7,0	***	172,3		173,8		33,0		92
MEG6.73 #501	6,9	***	173,3		176,3	***	33,0		54
MEG6.73 #685	6,9	***	178,1	***	183,8	***	33,4	***	96
MEG6.73 #358	6,9	***	161,5		178,8	***	27,5		96
MEG6.73 #28	6,9	***	168,5		162,1		32,2		100
MEG6.73 #316	6,9	***	167,5		169,6		32,2		79
MEG6.73 #183	6,9	***	169,8		170,4		33,1	***	83
MEG6.73 #730	6,9	***	166,3		160,4		32,2		96
MEG6.73 #111	6,9	***	185,6	***	166,3		32,9		100
MEG6.73 #818	6,8	***	162,5		142,7		34,5	***	88
MEG6.73 #171	6,8	***	166,0		159,8		32,4		88
MEG6.73 #652	6,7	***	187,5	***	179,8	***	32,4		83
MEG6.73 #360	6,7	***	170,7		176,5	***	30,3		74
MEG6.73 #729	6,7	***	171,3		166,7		31,6		100
MEG6.73 #217	6,6	***	175,6		187,1	***	32,2		100
MEG6.73 #575	6,6	***	165,9		160,4		32,5		78
MEG6.73 #672	6,5		168,3		164,6		30,1		92
MEG6.73 #616	6,5		172,3		184,6	***	31,6		100

Continúa...

...continuación.

Familia	PACUM (kg CC árbol)		Altura 24 meses (cm)		D. Copa 24 meses (cm)		N° Cruces 24 meses		% Resistencia Roya ≤ 3
MEG6.73 #508	6,5		161,5		166,5		30,0		75
MEG6.73 #220	6,5		170,7		174,5	***	32,2		100
MEG6.73 #815	6,4		164,6		156,9		32,0		96
MEG6.73 #715	6,4		170,6		174,4	***	29,3		100
MEG6.73 #320	6,4		163,0		157,6		30,9		96
MEG6.73 #722	6,1		170,2		168,8		30,5		96
MEG6.73 #805	6,1		165,6		148,5		33,5	***	100
MEG6.73 #357	6,1		159,4		171,3		30,3		75
MEG6.73 #218	5,9		164,8		176,5	***	28,5		100
MEG6.73 #580	5,9		172,1		162,3		35,2	***	83
MEG6.73 #571	5,9		162,1		150,6		33,8	***	88
MEG6.73 #239	5,8		162,3		167,5		31,0		100
MEG6.73 #231	5,8		161,3		151,7		31,7		83
MEG6.73 #654	5,8		174,6		165,2		32,6		39
MEG6.73 #804	5,7		157,7		148,8		32,3		83
MEG6.73 #806	5,3		167,1		151,5		31,8		88
MEG6.73 #216	5,2		168,1		175,2	***	31,0		100
MEG6.73 #802	5,0		146,7		132,6		29,3		83
MEG6.73 #817	4,8		161,9		166,5		30,3		54
Cenicafé 1	4,4		158,5		152,7		29,4		17
MEG6.73 #114	4,3		184,2	***	169,0		34,9	***	79
MEG6.73 #723	3,9		169,8		143,5		30,0		75
MEG6.73 #116	3,8		170,9		181,8	***	31,3		100
Caturra	3,3		161,9		155,4		33,0		4
MEG6.73 #699	3,3		170,4		152,9		32,5		100
MEG6.73 #698	3,2		180,0	***	170,4		35,2	***	100
MEG6.73 #834	3,2		159,6		145,8		33,3	***	83
MEG6.73 #840	2,9		155,0		163,1		31,0		96
MEG6.73 #808	2,9		166,7		164,4		32,2		71
MEG6.73 #635	2,8		167,7		161,9		34,2	***	75
MEG6.73 #831	2,1		151,3		145,9		31,4		100

D.S: Diferencia Significativa con el testigo.

Subprograma MEG103. Conservación y evaluación de los recursos genéticos de café

Obtención de derechos de obtentor de variedad y registro como productores de semilla certificada de las variedades de café. MEG103002.

Con el propósito de consolidar la información relacionada con la distribución de semilla seleccionada de café en el país, se solicitó al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) el certificado de entrega de semilla seleccionada a caficultores de Colombia, correspondiente al período comprendido entre la expedición de la Resolución ICA 004266 del 10 de diciembre de 2014 y el año 2024. Según la información reportada y certificada por la Coordinación Contable de Cenicafé, durante este período se han distribuido 775.746 kg de semilla de las variedades mejoradas desarrolladas por la FNC, entregadas a los Comités Departamentales de Cafeteros para la implementación de los programas de renovación de cafetales a nivel nacional.

Cenicafé completó satisfactoriamente todos los trámites requeridos ante el ICA en la plataforma SimplifICA, obteniendo a partir de 2025 los registros oficiales en las siguientes categorías:

- Productor y exportador de semilla seleccionada.
- Unidad de mejoramiento genético.
- Evaluación agronómica y producción de semilla.

Con la obtención de estos registros, Cenicafé cumple con los requisitos normativos establecidos por el ICA y consolida su capacidad institucional para la producción, evaluación y distribución de semilla seleccionada de las variedades desarrolladas por el Programa de Mejoramiento Genético. Así mismo, estos registros son esenciales para garantizar la protección de los derechos de obtentor de nuevas variedades y el registro oficial de los cultivares de café desarrollados por Cenicafé.

Paralelamente, se culminaron los trámites administrativos asociados con los cultivares comerciales, incluyendo las aclaraciones de pagos y la actualización de las fichas técnicas de las variedades Castillo® 2.0, Cenicafé 1, Tabi, Castillo® Zona Norte, Castillo® Zona Centro y Castillo® Zona Sur. Adicionalmente, se obtuvo el registro oficial del cultivar Castillo® 2.0 y se avanzó en los trámites de derechos de obtentor para las variedades MEG105002 (Gigante #41) y MEG105001 (Líbano #617),

fortaleciendo así el proceso de protección y gestión de la propiedad intelectual sobre los materiales genéticos generados por Cenicafé.

La prueba de Distinguibilidad, Homogeneidad y Estabilidad (DHE) es un requisito establecido por el ICA para el registro y protección de nuevas variedades vegetales. Su objetivo es verificar que las variedades propuestas sean diferenciables, uniformes y estables en sus características morfológicas y agronómicas, garantizando su identidad genética y respaldando el otorgamiento de los derechos de obtentor o el registro oficial del cultivar.

Con el propósito de proteger las variedades mejoradas desarrolladas para los caficultores colombianos, entre 2023 y 2025 se dio inicio al establecimiento de dos pruebas DHE. En la DHE-1 se evaluaron nueve variedades nuevas: *MEG2.32#333*, *MEG2.32#53*, *MEG2.32#66*, *MEG3.15#1449*, *MEG6.65#275*, *MEG6.65#513*, *MEG6.65#49* y *MEG6.65#691*. En 2025 se estableció la DHE-2, conformada por siete variedades adicionales: *DH0004*, *CU1871*, *MEG105002 (Gigante #41)*, *MEG105001 (Líbano #617)*, *Celestra*, *Castalia* y *Cocoon*.

Estos avances reflejan el compromiso institucional de Cenicafé con el cumplimiento de los requerimientos técnicos del ICA y la protección de los desarrollos genéticos de la FNC, fortaleciendo la base legal y científica para la liberación de nuevas variedades de café en beneficio del sector cafetero colombiano.

Conservación de la Colección Colombiana de Café. MEG103011

La diversidad genética conservada en la Colección Colombiana de Café (CCC) es de gran importancia para la caficultura colombiana, dado que le permite ofrecer una respuesta tanto a problemas presentes como oportunidades potenciales a través del fitomejoramiento. A pesar de la facilidad de acceso y evaluación a los recursos genéticos cuando son conservados en el campo, están expuestos a diferentes amenazas, entre ellas la edad misma de las plantas que pueden reducir la diversidad conservada. Durante los últimos años, las estrategias de renovación se enfocaron en reducir su pérdida, mediante la intervención de accesiones consideradas en amenaza o vulnerables de pérdida y la renovación en general de la CCC. Aunque estas estrategias fueron realizadas en las 1.028 accesiones de la CCC, los mayores esfuerzos se enfocaron en las provenientes de Etiopía, las cuales representan la mayor fuente de diversidad para la especie. De esta manera, teniendo en cuenta lotes donde el germoplasma de este origen es conservado, la media de sitios perdidos pasó del 41,2% al 5,6%, este hecho resalta que las actividades llevadas a cabo para su recuperación han sido efectivas

(Figura 52). Adicionalmente, al observar la composición actual de las accesiones conservadas en estos lotes, el 2,2% están conformadas por entre tres y cinco plantas, mientras que el 97,8% de las mismas posee entre seis y diez plantas (Figura 53). De esta manera la pérdida de diversidad representada en el número de accesiones ha sido evitada dentro de la Colección. Sin embargo, la diversidad intra-cesión, la cual está representada por las plantas originalmente establecidas, disminuyó 11,5% en los últimos siete años. Aunque este valor es inferior al observado los años 2014 y 2017, donde fue del 15,9% y 12,1%, respectivamente.

Determinación de la genética que condiciona la androesterilidad en café. MEG103016

El fenómeno de la androesterilidad constituye una herramienta valiosa en el mejoramiento genético de plantas, especialmente útil para la obtención de variedades híbridas F₁, ya que permite su multiplicación mediante semilla. Esta característica es de particular relevancia en especies autógamas como el café (*C. arabica* L.), donde la producción manual de semilla híbrida o la propagación vegetativa presentan limitaciones técnicas y económicas.

En Colombia, reconociendo el potencial de la androesterilidad para facilitar la distribución de híbridos F₁, en 2018 se realizó una exploración exhaustiva de la Colección Colombiana de Café, identificando 11 genotipos androestériles. Posteriormente, estos androestériles se caracterizaron, encontrando adicionalmente atributos de interés agronómico y de calidad en taza, como una reducción de hasta el 20% de presencia de broca (1607/379ae762, 05.16/344ae2073) y perfiles sensoriales diferenciados (05.16/318ae2148).

Se seleccionaron cinco androestériles que fueron cruzadas con tres progenies derivadas de Caturra x Híbrido de Timor 1343, caracterizadas por su alto

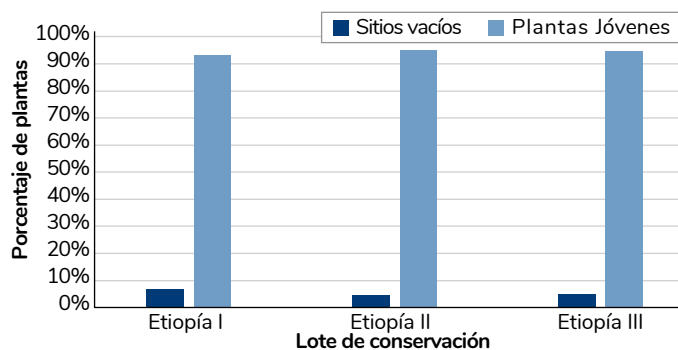


Figura 52. Estado general de 416 accesiones etíopes conservadas en tres lotes de la Colección Colombiana de Café.

desempeño agronómico, resistencia a la roya, así como excelente calidad física del grano y sensorial de la bebida. Actualmente, se encuentran en caracterización las poblaciones híbridas F₁ resultantes. Entre los hallazgos más relevantes se destaca el alto potencial productivo de los híbridos, con valores de heterosis para esta característica que oscilan entre 154% y 177% respecto al progenitor donante de polen -derivado del HdT-. No obstante, al compararlos con la variedad Cenicafé 1 (heterosis útil), solo el híbrido proveniente del androestéril 05.16/318ae2148 mostró una diferencia estadísticamente significativa (Figura 54).

La caracterización agronómica en curso, junto con la determinación del control genético de la androesterilidad, permitirá fortalecer el conocimiento de las fuentes de androesterilidad disponibles en Colombia y su potencial uso en el programa de mejoramiento genético para la generación y distribución de híbridos F₁ más productivos y de alta calidad sensorial.

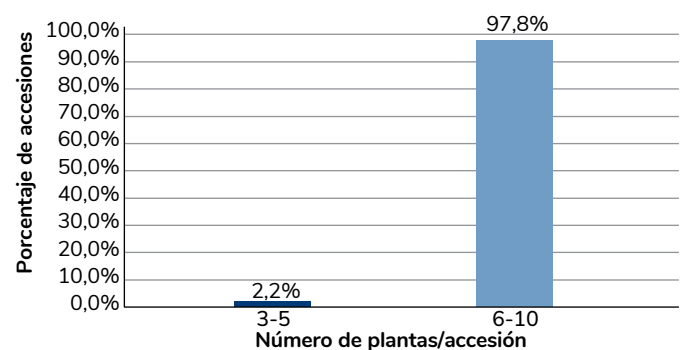


Figura 53. Número de plantas que componen la diversidad de 416 accesiones procedentes de Etiopía dentro de la CCC.

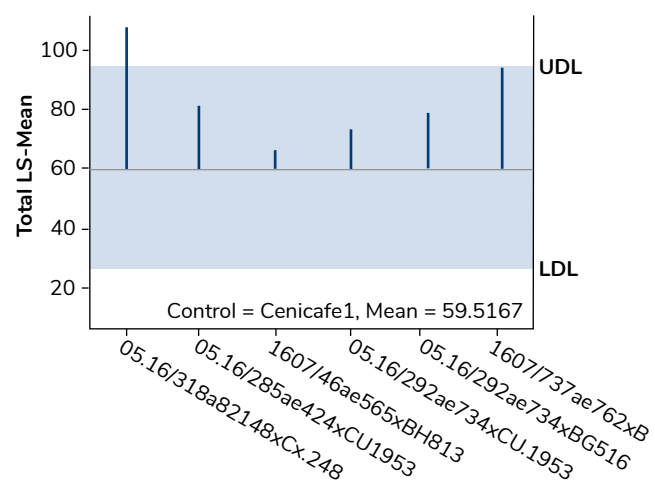


Figura 54. Heterosis útil observada en la producción acumulada promedio por parcela (ocho plantas) en seis híbridos obtenidos a partir de seis fuentes de androesterilidad comparados con la producción de la variedad Cenicafé 1. El área sombreada indica los límites de confianza al 95% ajustados con la prueba de Dunnett.

Caracterización de poblaciones de híbridos interespecíficos entre *Coffea arabica* y diferentes especies diploides por calidad sensorial y principales limitantes bióticos del cultivo. MEG103017

En la Colección Colombiana de Café (CCC) se han conservado por más de cinco décadas híbridos interespecíficos (HIE) entre *Coffea arabica* y diferentes especies diploides de *Coffea*. Esto, con el propósito de ampliar la base genética de *C. arabica* mediante la introgresión de características de interés agronómico, tales como resistencia a plagas y enfermedades limitantes actuales o potenciales para la caficultura colombiana, tolerancia a estreses abióticos y atributos diferenciados en calidad sensorial.

Con el fin de avanzar en la caracterización de los HIE entre *C. arabica* y diferentes especies diploides, durante el período reportado se realizaron autofecundaciones controladas en genotipos conservados en la CCC, correspondientes a diferentes avances generacionales (F_1RC_1 , F_2RC_1 , F_3RC_1 , F_4RC_1 y F_5RC_1). Adicionalmente, se establecieron en el campo 39 HIE resultantes de cruzamientos entre *C. arabica* (variedades Caturra, Borbón, Padang, Iapar 59 y progenies de variedad Colombia) y cinco especies diploides: *C. eugenioides*, *C. liberica*, *C. stenophylla*, *C. canephora* y *C. bengalensis*, con generaciones comprendidas entre F_1RC_1 y F_5RC_1 .

Adicionalmente, se mantienen en almácigo 18 HIE que serán establecidos en el campo en octubre de 2025, y se continúa con la restauración de la fertilidad de 29 híbridos triploides obtenidos del cruce de *C. arabica* con especies diploides (*C. eugenioides*, *C. racemosa*, *C. stenophylla* y *C. congensis*), mediante fecundaciones con los padres recurrentes. Estos avances constituyen un paso fundamental para la incorporación de nuevas fuentes de variabilidad genética en el Programa de Mejoramiento Genético de Cenicafé, orientado al desarrollo de variedades con mayor resiliencia, productividad y calidad en taza.

Subprograma MEG104. Mejoramiento por resistencia a plagas

Desarrollo y evaluación de poblaciones con menor número de estados de la broca del café. MEG104003

Con el propósito de aprovechar la resistencia genética del cafeto como estrategia de manejo frente a la broca

del café (*Hypothenemus hampei*), principal insecto plaga y causa de las mayores pérdidas económicas en la caficultura colombiana, se están desarrollando y caracterizando poblaciones en diferentes generaciones derivadas del cruce entre progenitores femeninos, con excelentes atributos agronómicos y resistencia a la roya (*Hemileia vastatrix*), con introducciones etíopes de *Coffea arabica* y de *C. liberica* portadoras de antibiosis asociada a baja aptitud reproductiva de la broca. Durante el período que abarca este informe, se evaluó la antibiosis de híbridos F_1 en condiciones controladas, utilizando un diseño completamente aleatorizado en viales individuales que contenían un grano de café y una hembra de broca. Adicionalmente, los híbridos F_1 , las poblaciones F_2 y las progenies F_3 que presentaron antibiosis en el laboratorio fueron evaluados en el campo mediante infestaciones controladas de tres ramas por planta, con 50 frutos sanos y 100 brocas, utilizando mangas entomológicas.

En las evaluaciones de campo se confirmó una reducción significativa en la oviposición de 12 híbridos F_1 , con valores entre 34,4% y 76,9% (Figura 55). Así mismo, se identificaron 18 plantas F_2 con porte medio, resistencia a la roya y antibiosis en condiciones controladas (16,2%–24,6%), que presentaron disminuciones en oviposición en el campo entre 25,3% y 84,6% (Figura 56).

Por su parte, 30 plantas F_3 pertenecientes a 14 progenies seleccionadas por su reducción significativa del total de estados de la broca del café en condiciones controladas (18,1%–29,7%), mostraron en el campo una disminución entre 25,1% y 69,8% respecto a los testigos susceptibles (Figura 57). Estas plantas F_3 presentaron, además, porte igual o menor que las variedades comerciales Caturra y Cenicafé 1, producción comparable o superior y resistencia a la roya con incidencia igual o menor a 3 en la escala de Eskes & Toma-Braghini, en un rango de 70% a 97% de las plantas evaluadas.

Las progenies con antibiosis comprobada y excelentes características agronómicas avanzarán a las generaciones F_4 y F_5 , las cuales serán establecidas en zonas marginales de baja altitud, donde la principal limitante productiva es la alta infestación por broca. Este avance constituye una estrategia de adaptación al cambio climático y de fortalecimiento de la sostenibilidad del cultivo de café en Colombia.

Producción de plantas in vitro provenientes de materiales obtenidos con los cruzamientos *C. arabica* var. Castillo® x *C. arabica* Etíopes. MEG14005

Con el fin de obtener genotipos de café con menor susceptibilidad a la broca, se seleccionaron cuatro híbridos F_1 : CU1842xE286 (H1), CX2385xE286

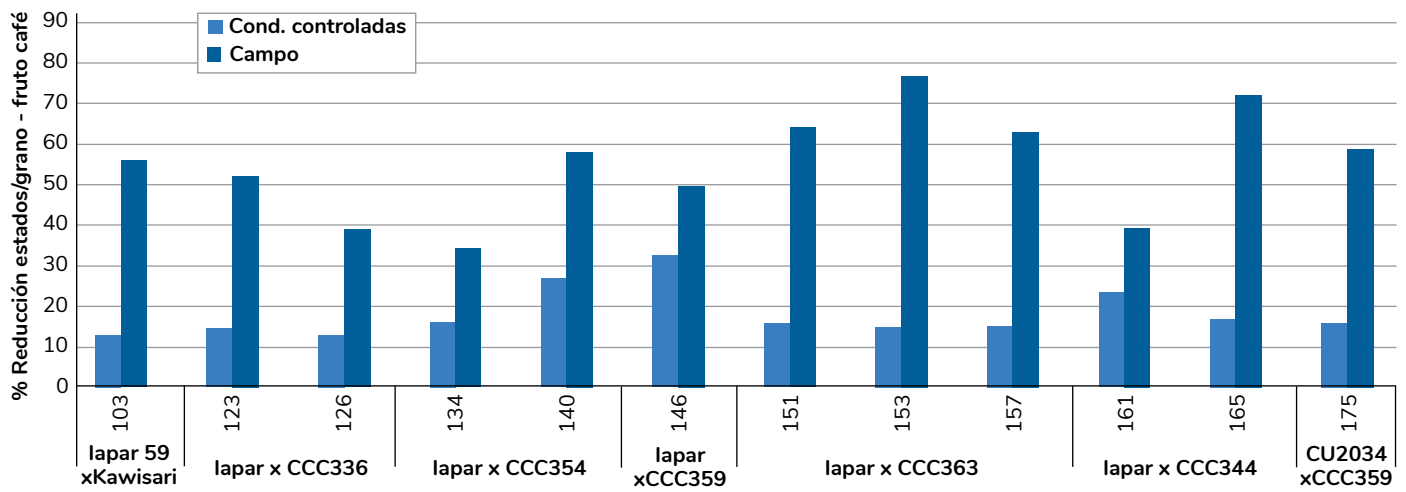


Figura 55. Comparación del porcentaje de reducción del total de estados de la broca del café en híbridos F1 de siete cruzamientos (lapar x Kawisari, lapar x CCC336, lapar x CCC354, lapar x CCC359, lapar x CCC363, lapar x CCC344 y CU2034 x CCC359) sembrados en el lote 2020_1, en condiciones controladas y en el campo.

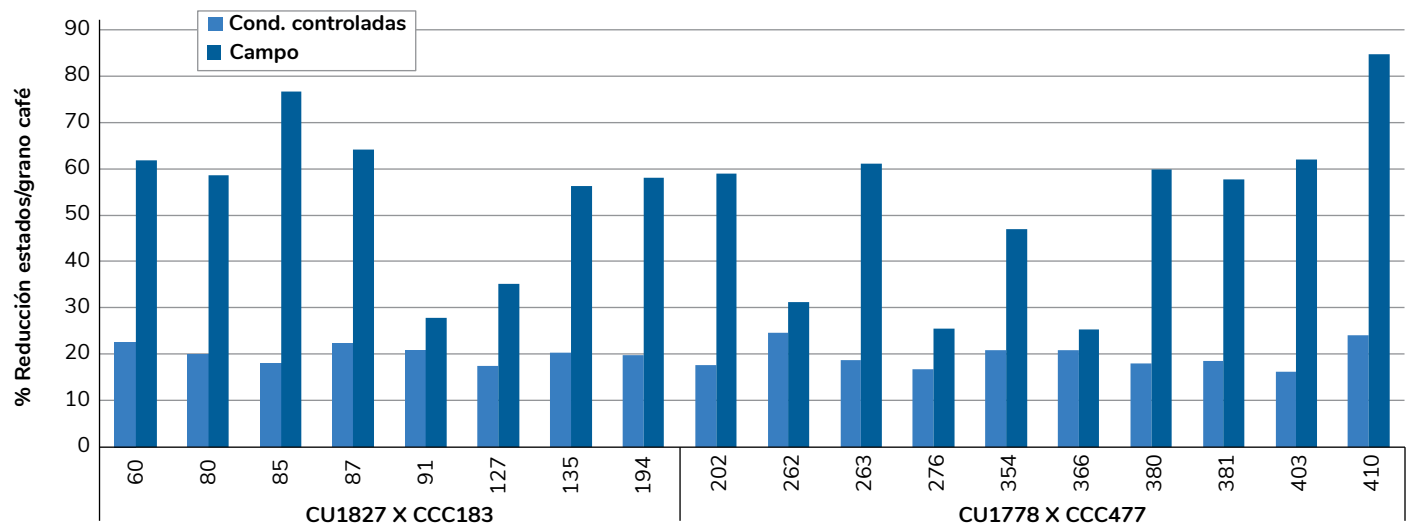


Figura 56. Comparación del porcentaje de reducción del total de estados de la broca del café en plantas F2 de las poblaciones CU1827 x CCC183 y CU1778 x CCC477, en condiciones controladas y en el campo.

(H3), CX2385xE554 (H2) y CX2848xE554 (H4). Los materiales fueron propagados in vitro a partir de hojas, por embriogénesis somática. Las plantas clonadas fueron trasplantadas al campo en abril de 2018, en la Estación Experimental La Catalina en Risaralda, junto con plantas propagadas in vitro CX2848 y plantas obtenidas por semilla de variedades comerciales: Cenicafé 1 y Castillo® Naranjal. Los híbridos fueron evaluados por resistencia a broca, características agronómicas y producción, mostrando vigor híbrido, tolerancia a broca y alta producción. En la Tabla 28 se observa el resumen de las características identificadas luego de un ciclo de cosecha (cinco años). Este año en el mes de febrero, estas plantas fueron zoqueadas y serán usadas como jardín clonal para obtener vástagos y hacer injertación con estos. Adicionalmente, se realizó una evaluación preliminar para determinar si es posible inducir rebrotación de

chupones (brotes ortotrópicos) en estos materiales de *C. arabica*, con el producto comercial Dormex SL (cianamida hidrogenada) en una dosis de 2%. No se observó efecto del producto. Adicionalmente, el año pasado se generaron plantas tanto por cultivo in vitro como por injertación de estos híbridos y estos fueron llevados a lotes semi comerciales en marzo de este año. En la Estación El Rosario (Antioquia) por cada híbrido, se sembraron 280 plantas, de las cuales 210 corresponden a plantas obtenidas por injertación y 70 por cultivo de tejidos, junto con los respectivos controles de la variedad Castillo 2.0. En la Estación La Catalina (Risaralda), por cada híbrido, fueron sembradas entre 60 y 90 plantas injertadas y 30 obtenidas por cultivo de tejidos (Figura 58). Se evaluará si existen diferencias en las características agronómicas de los materiales generados por injertación versus los obtenidos por cultivo in vitro y se realizarán pruebas de

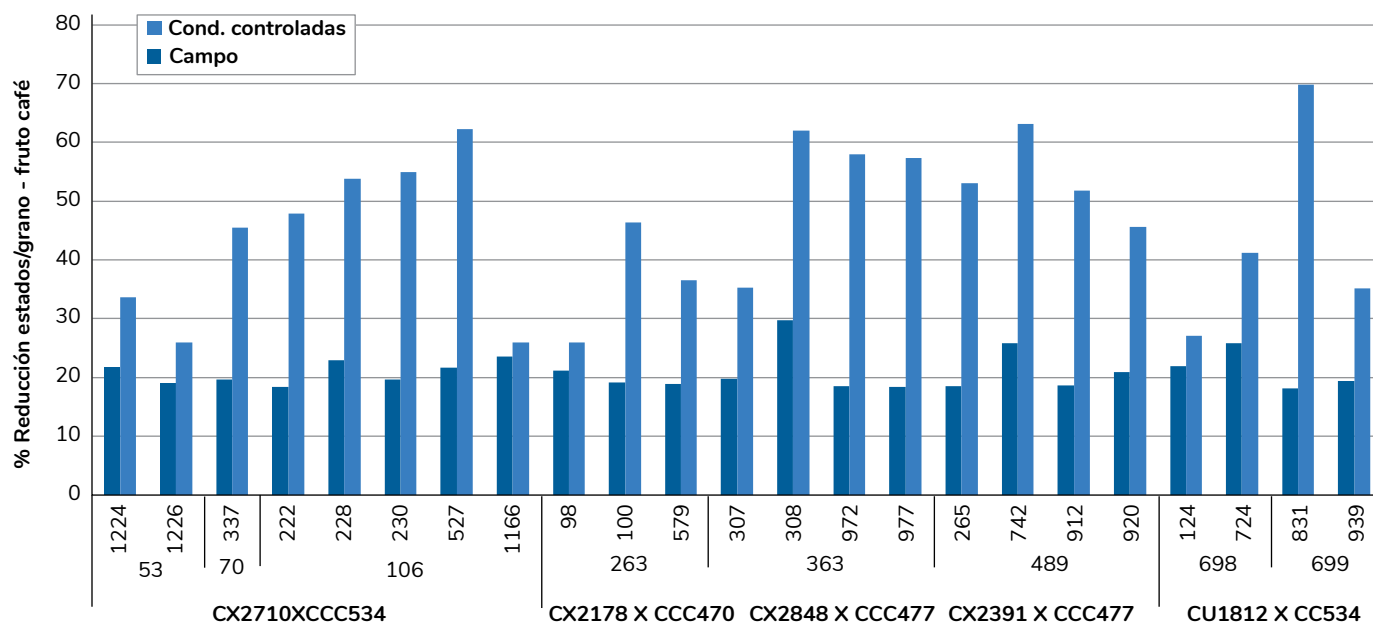


Figura 57. Comparación del porcentaje de reducción del total de estados de la broca del café en progenies F3 de cinco poblaciones (CX2710 X CCC534, CX2178 X CCC470, CX2848 X CCC477, CX2391 X CCC477, CU1812 X CCC534), en condiciones controladas y en el campo.

calidad física y sensorial de estos materiales.

Manipulación de simbioses bacterianos para el control de la broca del café. MEG104007

La broca del café es una de las plagas que más pérdidas ocasiona en el cultivo de café en Colombia. El ARN de interferencia (ARNi) ha surgido como una alternativa prometedora para el control de plagas al inducir el silenciamiento de genes específicos en insectos, pudiéndose utilizar como una estrategia de control biológico de plagas en la agricultura. Este proyecto evalúa la viabilidad de utilizar bacterias simbioses, previamente identificadas como vectores para la entrega de ARNi directamente en la dieta de la broca. Previamente se realizó una investigación como prueba de concepto, en donde se usó la bacteria *Escherichia coli* HT115 para llevar este RNAi que interfería con las enzimas del tracto digestivo de la broca del café específicamente mananasas y xylanosas, importantes en la degradación de galactomananos del café, fuente de alimento de la broca del café. Se repitió el ensayo para evaluar el efecto sobre larvas de la broca de la ingesta de bacterias *E.coli* HT115 transformadas con RNAi para xylanasa, mananasa y para GFP (proteína verde fluorescente) como control. Al cabo de 21 días la ingesta de RNAi mananasa disminuyó la supervivencia de los insectos causando mortalidad de 52,1%, para GFP la mortalidad fue de 26,4% y en el control de 10%. Los resultados para xylanasa fueron similares. Se demostró que la bacteria *Pantoea* encontrada y aislada del intestino de la broca del café y que fue transformada

con la proteína GFP, para su expresión en las bacterias, puede establecerse nuevamente en el tracto digestivo de adultos de *H. hampei* hasta por 20 días. No se demostró el silenciamiento de los genes de interés por parte de *E.coli* con RNAi de mananasa y xylanasa en las pruebas de laboratorio por PCR en tiempo real.

Desarrollo de una metodología para la propagación masiva in vitro y escalamiento de materiales híbridos de café con tolerancia a la broca del café y potencial climático. MEG104008

Se cuenta con cuatro híbridos F₁ de café propagados in vitro: CU1842xE286 (H1), CX2385xE286 (H3), CX2385xE554 (H2) y CX2848xE554 (H4), los cuales en el campo han mostrado alta producción, tolerancia a la broca del café, calidad sobresaliente y resistencia a la roya. Dado que estos materiales no pueden propagarse por semilla sin perder sus características, se inició su propagación masiva mediante cultivo de tejidos. Para esto se instaló un módulo de biorreactores RITA® con sistema de aireación e inmersión, luminarias y un fotoperíodo de 12 h, evaluando de una a cuatro inmersiones de 5 min cada 24 h. A partir de embriones obtenidos entre 2021–2024, las siembras en los RITA® comenzaron en enero de 2025 (Figura 59). Se ha observado buen desarrollo de los embriones y conversión a plantas (Figura 60). Hasta la fecha, 29 biorreactores han producido 204 plantas, así:

Tabla 28. Características materiales híbridos propagados por cultivo de tejidos y tolerantes a broca. Los datos fueron obtenidos de 60 plantas evaluadas en un ciclo de cosecha (5 años) sembrados en la estación la Catalina (Pereira) (2020-2025). Las comparaciones se hicieron con respecto a los controles, Variedad Cenicafé 1 y Castillo Naranja.

Genotipos	Identificación	Mortalidad broca en dietas (%) (*1)	Disminución de poblaciones de brocas vs. control. Semillas laboratorio (%) (*2)	Disminución de poblaciones Semillas Campo (%) (*3)	Producción acumulada kg/planta (*4)	Número de cruces/planta (*4)	Altura de plantas (cm)
CU1842xE286	H1	40*	50*	70*	20,3*	53,0*	257,3
CX2385XE554	H2	22*	30*	67*	16,7*	54,86*	253,1
CX2385xE286	H3	30*	50*	67*	22,0*	54,0*	261,58
CX2848xE554	H4	22*	30*	46*	18,4*	51,23*	260,23
Var. Cenicafé1 y Var. Castillo Naranja	Controles Susceptibles	10,0-15,0	-	-	10,5	47,5	252,3

Los asteriscos* indican diferencias significativas con respecto al control – Intervalos confianza 95%

*1 ANOVA $p < 5$

*2 test Tukey-Kramer.

*3 Test Scheffe

*4 Test Dunnett.



Figura 58. Lote sembrado con material híbridos injertados y producidos por cultivo in vitro. Marzo 15, 2025. Estación El Rosario (Antioquia).

65 plantas en nueve biorreactores del híbrido H1, 59 plantas de 12 biorreactores del H2 y 80 plantas de ocho biorreactores del H3. Los tratamientos con tres y cuatro inmersiones generaron más plantas que el tratamiento con 2, y el medio de diferenciación resultó más eficiente que el de germinación (Figura 61). En el invernadero se mantienen alrededor de 100 plantas por híbrido en bolsas de almácigo y Jiffy® pellets, éstas serán llevadas al campo en 2026.

En paralelo, en noviembre de 2022 se establecieron en el campo, los cruzamientos

recíprocos: H1R (E286xCU1842), H3R (E286xCX2385), H5R (E554xCU1842), H2R (E554xCX2385) y H4R (E554xCX2848), con 60 plantas por genotipo. Se evalúan características agronómicas y tolerancia a la broca. Las semillas de H5R, H1R y H3R redujeron las poblaciones de la broca en 18,3%, 19,5% y 28,0% respectivamente, respecto a la variedad Castillo®, mientras que los parentales E554 y E286 mostraron reducciones de 32% y 35%. H4R no mostró efecto sobre el insecto, similar a Var. Castillo. Después de 23 meses en el campo, los híbridos superaron a los parentales en altura, número de ramas y diámetro de tallo, mostrando vigor híbrido. A los 33 meses, con 10 kg/planta en promedio, duplicaron la producción de los parentales (4,4 kg/planta), destacándose H1R y H4R por precocidad y rendimiento. Este proyecto abre el camino para la propagación de híbridos élite de café con características sobresalientes y tolerancia a la broca, que podrán ser utilizados por los caficultores colombianos.

Subprograma MEG105. Evaluación regional de progenies avanzadas

Evaluación de líneas promisorias de café en pruebas regionales. MEG105006

Dentro del esquema de mejoramiento, la etapa final de selección de las progenies candidatas a conformar una nueva variedad comprende su evaluación en un rango representativo de ambientes. Esta fase tiene como propósito analizar la relación entre el ambiente y la expresión fenotípica de cada genotipo. La comprensión de esta interacción genotipo × ambiente (G × A) es fundamental para definir la estrategia de

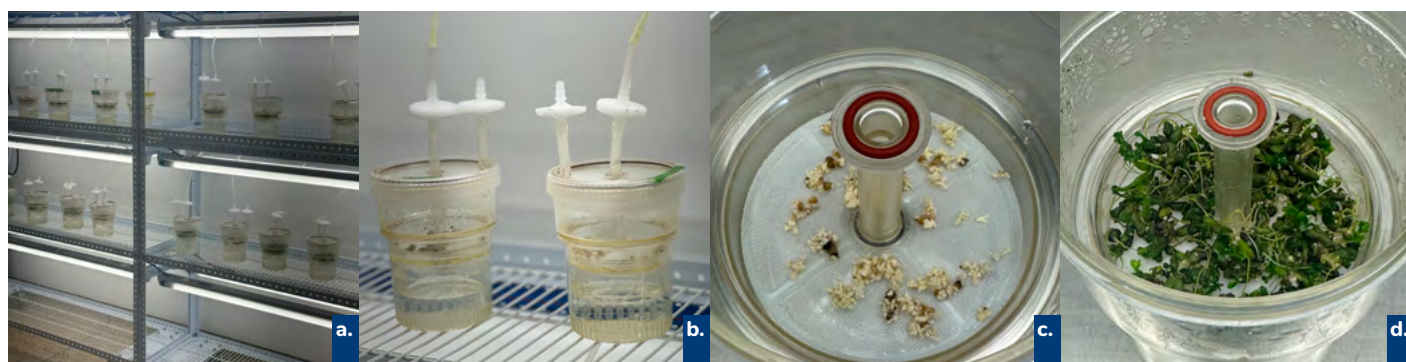


Figura 59. a. Módulo con biorreactores RITA®; b. Biorreactores con embriones unido al módulo; c. Embriones somáticos blancos; d. Conversión de embriones a plántulas.

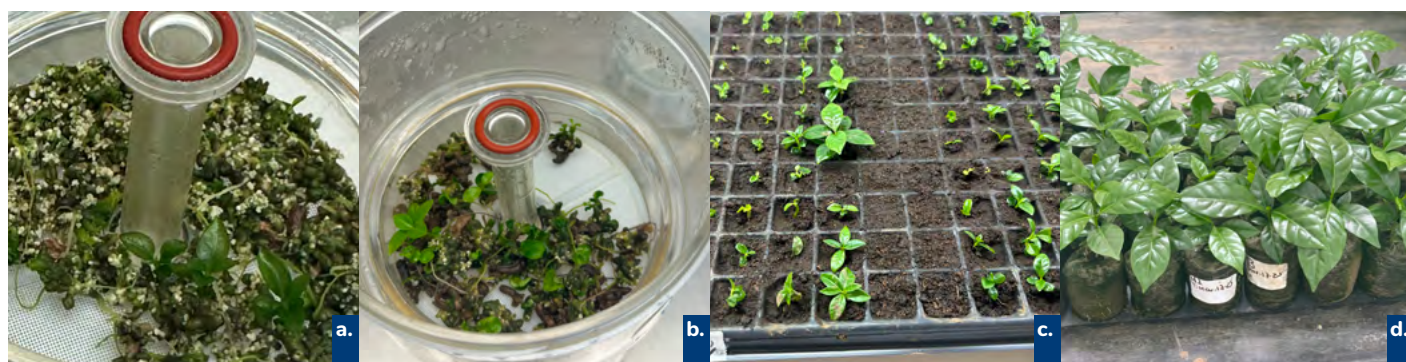


Figura 60. a. Biorreactores en donde se observa la conversión de embriones a plantas; b. Plantas generadas en el biorreactor; c. Plantas del biorreactor sembradas en suelo en bandejas; d. Plantas generadas en los biorreactores sembradas en contenedores Jiffy® Pellets con 3 meses de edad.

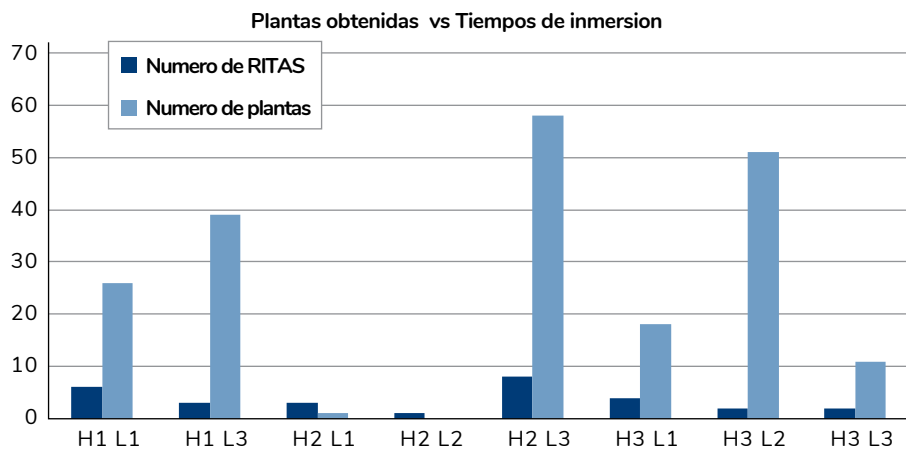


Figura 61. Número de plantas producidas de cada híbrido: H1, H2 y H3 con respecto al número de biorreactores RITA® y los diferentes tiempos de inmersión evaluados en el medio de cultivo: L1, dos inmersiones/24 h. L2, tres inmersiones/ 24 h y L3, cuatro inmersiones/24 h.

liberación de una nueva variedad, ya que permite identificar las progenies con comportamiento estable en diferentes localidades (variedades de amplia adaptación), así como aquellas con desempeño superior en condiciones ambientales específicas (variedades de adaptación estrecha o zonales). Esta investigación tiene como finalidad la evaluación de 123 progenies avanzadas, divididas de acuerdo con la fecha de establecimiento en el campo (2020-1 y 2020-2), número de progenies y localidades evaluadas (Tablas 29, 30).

Los resultados obtenidos de cinco evaluaciones de roya realizadas entre 2023 y 2025 indican que el 81% de las progenies evaluadas en la prueba PR2020-1 y el 46% de las progenies de la PR2020-2 presentaron resistencia a *H. vastatrix*. Se consideraron resistentes aquellas progenies en las cuales al menos el 80% de los árboles evaluados en todas las localidades y en las cinco evaluaciones registraron una calificación máxima de 3 en la escala de Eskes y Toma-Braghini, en la cual las plantas con calificaciones iguales o inferiores a 4 se clasifican como resistentes. De las 60 progenies catalogadas como resistentes, en el 97% de los casos la resistencia proviene de *Coffea canephora*, mientras que únicamente el 3% la heredan del híbrido de Timor. Estos resultados muestran la importancia de incorporar a las variedades comerciales fuentes de resistencia derivadas de *C. canephora* y de

Tabla 29. Descripción de las poblaciones que serán evaluadas en las Pruebas Regionales 2020.

Población	Descripción	Generación	No. Progenies PR2020-1	No. Progenies PR2020-2
(Cat x HdT) x HdT	Incorporación de diferentes fuentes de resistencia a la roya provenientes de híbridos de Timor que no se han utilizado en Colombia. HdT I566, HdT832-1.	F5	-	2
Cat x Can	Cruces interespecíficos. Población arabizada, en la que se utilizaron como padres las variedades de <i>C. canephora</i> Robusta BP.358 y BP.40. Llegaron a Cenicafé provenientes de la colección de Costa Rica, pero fueron desarrolladas por el programa de mejoramiento genético de Java. Adicionalmente, estas dos variedades fueron evaluadas en Colombia y seleccionadas por su buen desempeño agronómico.	F5RC1–F7RC1	19	62
Cat x ET	Población F5 desarrollada a partir de cruzamiento de Caturra x ET42. No es resistente a la roya, pero presenta producción alta y perfil sensorial diferenciado.	F5	-	10
Cat x HdT	Población que dio origen a las variedades comerciales vigentes (Colombia, Castillo®, Cenicafé 1). Sin embargo, las progenies seleccionadas no hacen parte de alguna variedad comercial actual. Aportan resistencia a CBD.	F8	-	12
CC	Cruces complejos. Población que involucra parentales provenientes de Etiopía y Sudán, algunos de los cuales presentan resistencia a CBD, roya y perfiles sensoriales diferenciados.	F5	-	10
ET x (Cat x HdT)	Población en la cual se utilizó como parental el etíope AR56, reconocido por presentar resistencia al CBD. También es resistente a la roya.	F5	-	6
Híbridos F1	Híbridos desarrollados a partir del cruzamiento de dos progenies componentes de Castillo (CU1842 y CX2358) con el genotipo etíope E.286. Estos híbridos se destacan por presentar resistencia por antibiosis contra la broca, alta producción y un perfil sensorial destacado.	F1	2	-
Testigo 1	Caturra. Testigo susceptible a la roya	-	1	1
Testigo 2	Cenicafé 1. Variedad Comercial con excelente desempeño agronómico	-	1	1
Testigo 3	Castillo® Zona Norte. Variedad Comercial con excelente desempeño agronómico	-	-	1
Testigo 4	Castillo® Zona Centro. Variedad Comercial con excelente desempeño agronómico	-	1	1
Testigo 5	Castillo® Zona Sur. Variedad Comercial con excelente desempeño agronómico	-	1	1
		-	25	107

Tabla 30. Descripción de las localidades seleccionadas para la evaluación de progenies avanzadas en pruebas de adaptación regional (PR).

Departamento	Municipio	Estación Experimental	LN	LO	Altitud (msnm)	Unidad Suelo	PR2020-1	PR2020-2
Cesar	Pueblo Bello	Pueblo Bello	10°25'18"	73°34'29"	1134	La Montañita		
Antioquia	Venecia	El Rosario	5°57'33"	75°42'19"	1635	Chinchiná		
Caldas	Chinchiná	Naranjal	4°58'19"	75°39'8"	1407	Chinchiná		
Huila	Gigante	Jorge Villamil	2°19'41"	75°30'47"	1435	La Cristalina		
Cauca	El Tambo	Manuel Mejía	2°24'17"	76°44'30"	1755	Timbío		

otros orígenes diferentes al HdT 1343, que no han sido previamente expuestas en el país.

En la caracterización de la calidad sensorial, todas las progenies evaluadas obtuvieron puntajes superiores a 80 en la escala de la *Specialty Coffee Association* (SCA), lo que las ubica dentro de la categoría de cafés especiales. De las 123 progenies analizadas, 18 alcanzaron puntajes entre 85 y 88, clasificándose como cafés de excelente calidad. Si bien se identificaron descriptores característicos del perfil tradicional del café colombiano, como notas dulces y a chocolate, también se observaron progenies con perfiles sensoriales más diversos, en los que predominaron descriptores florales, frutales, a especias y a nueces, los cuales aportan diferenciación y complejidad aromática frente al perfil convencional del café de Colombia.

Las progenies evaluadas constituyen una base genética estratégica para la conformación de nuevas variedades de café en Colombia, al integrar resistencia genética durable a la roya, altos niveles de productividad y perfiles sensoriales diferenciados. El desempeño estable de estas progenies en diferentes ambientes y la presencia de atributos de taza innovadores fortalecen las perspectivas de diversificación, resiliencia y competitividad de la caficultura nacional, contribuyendo al posicionamiento de Colombia en los mercados de cafés especiales y de valor agregado.

Subprograma MEG109. Mejoramiento por producción

Evaluación del comportamiento agronómico con énfasis en producción de poblaciones mejoradas de *Coffea arabica* L. MEG109001.

En los últimos seis años (2019-2024) la producción promedio de café en Colombia se han mantenido relativamente estable (~12,7 millones de sacos de café al año). En este mismo período de tiempo, se alcanzó una productividad promedio de 18,3 sacos de café verde por hectárea, lo cual representa un incremento del 26%, comparada con el quinquenio anterior. Este incremento se debe en gran parte a la estrategia de la FNC por impulsar la adopción de prácticas agronómicas, el uso de variedades resistentes a la roya, la renovación de cafetales y la utilización de mayores densidades de siembra.

No obstante, a pesar del significativo avance tecnológico experimentado en la caficultura colombiana, en términos de productividad promedio, el país aún se encuentra distante de los niveles alcanzados en países como Brasil

(26 sacos CV/ha, 2024). Sin embargo, recientemente se exploró la gran parte de colección de origen etíope conservada en la CCC en término de producción. Se identificaron accesiones con niveles de producción equivalentes a los de la especie *C. canephora*.

En 2018 se inició un plan de cruzamientos orientado a aprovechar la variabilidad genética disponible en la Colección Colombiana de Café. Se seleccionaron como progenitores masculinos nueve accesiones de origen etíope destacadas por su alta productividad y perfiles sensoriales diferenciados, y como progenitores femeninos, 12 progenies avanzadas del Programa de Mejoramiento Genético con excelente desempeño agronómico, resistencia a la roya proveniente de diversas fuentes y buena calidad física del grano (Tabla 6). A partir de estos cruzamientos se obtuvieron 66 híbridos F₁. Se presentan los resultados de la evaluación de 39 de estos híbridos, comparados con sus progenitores y con las variedades comerciales vigentes, durante un ciclo de cuatro años productivos (2020–2024).

De los 39 híbridos F₁ evaluados, 31 registraron una producción significativamente superior a la de la variedad comercial de mejor desempeño, Castillo® Zona Centro (CZC). Los rendimientos obtenidos por estos híbridos oscilaron entre 29,1 y 21,6 kg de café cereza por árbol en un ciclo de cuatro años de cosecha (2020–2024), en contraste con los 12,9 kg/árbol alcanzados por la variedad CZC. En términos relativos, los híbridos desarrollados presentaron incrementos en productividad entre 70% y 125% respecto al testigo comercial (Figura 13).

De los híbridos F₁, 19 fueron catalogados como resistentes a la roya, debido a que al menos el 80% de los árboles evaluados en cinco evaluaciones registraron una calificación máxima de 3 en la escala de Eskes y Toma-Braghini. En ocho de estos híbridos, el 100% de los árboles presentaron una clasificación máxima de 3, evidenciando su alta resistencia frente a esta enfermedad.

En el 79,5% de los híbridos F₁ se manifestó el porte alto heredado de los progenitores etíopes, mientras que ocho híbridos presentaron porte intermedio. En cuanto a la calidad física del grano, 28 híbridos registraron un promedio de granos vanos equivalente al de los testigos comerciales y progenitores femeninos (7,1%). El porcentaje de grano caracol en los híbridos fue, en promedio, del 22%, valor similar al observado en los progenitores etíopes y significativamente superior al de los testigos comerciales y progenitores femeninos (~11%).

De los 39 híbridos evaluados, 36 presentaron un porcentaje promedio de grano supremo del 81,5%. La caracterización sensorial evidenció que el 100% de los

Tabla 31. Descripción de los cruzamientos desarrollados entre accesiones etíopes altamente productivas y perfiles sensoriales diferenciados con progenies de excelente desempeño agronómico y con resistencia a la roya de diferentes orígenes.

		♂								
		E.141	E.151	E.22	E.225	E.267	E.327	E.333	E.346	E.352
♀	BG.516	X	X	X	X				X	X
	BH.1181		X	X		X	X	X		
	CO.868		X	X	X		X			
	CU.1858		X	X		X	X	X		
	CU.1876		X	X		X	X	X		
	CU.1954		X	X		X	X	X		
	F2(CU.1843 x S795)		X	X		X	X	X		
	IAPAR-59		X	X	X	X	X	X	X	X
	MEG 667 # 114	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	MEG 667 # 131		X	X		X	X	X		
	MEG 667 # 665	X			X		X	X	X	X
	MEG 667 # 669			X	X		X			

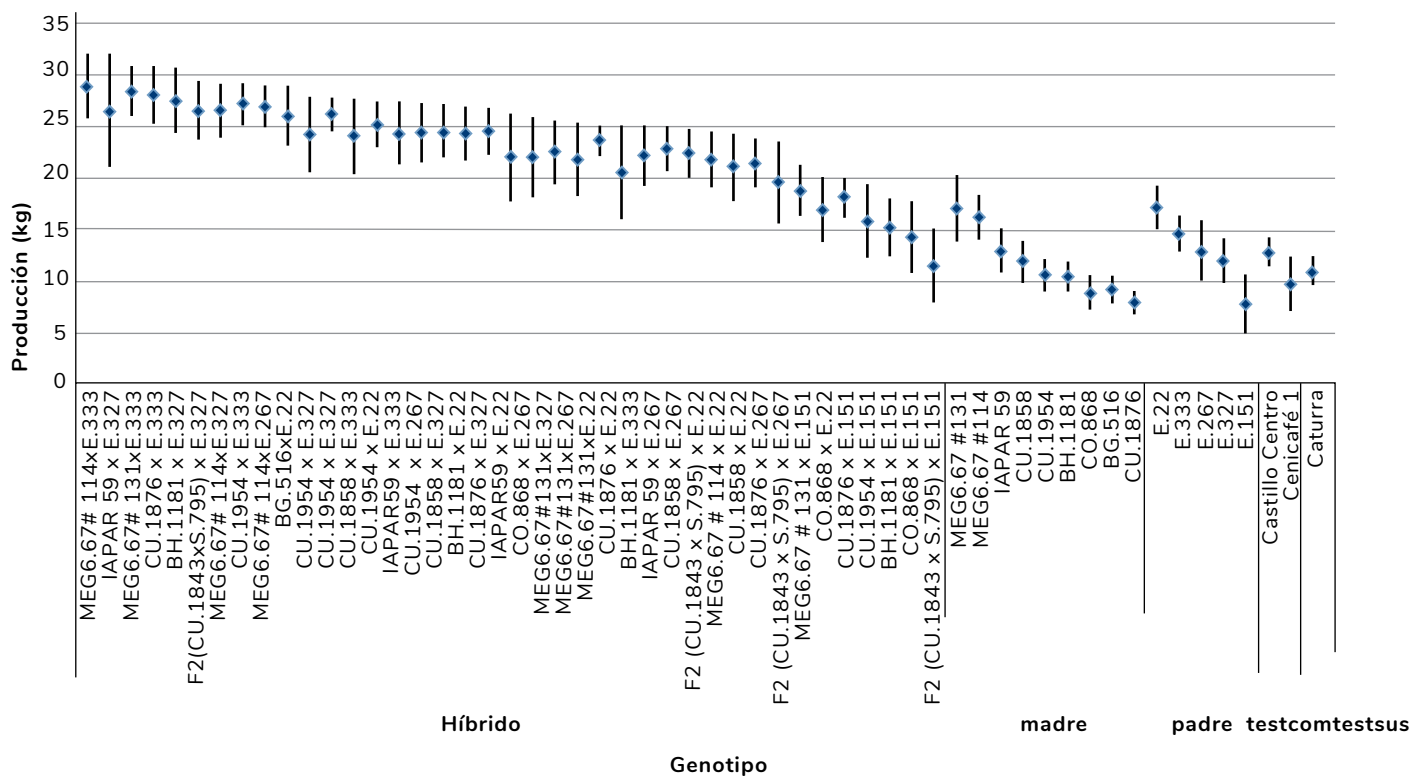


Figura 62. Promedio e intervalo para la producción acumulada por árbol, por ciclo de cuatro años productivos (2020-2024).

híbridos fueron clasificados como cafés especiales, con un puntaje promedio de 83 puntos SCA y un rango entre 80,5 y 86,0 puntos.

Como resultado de esta evaluación, se seleccionaron 22 híbridos F₁ para continuar el proceso de avance generacional, los cuales serán establecidos en el campo en noviembre de 2025. Adicionalmente, con el propósito de reforzar la resistencia a la roya, 14 híbridos F₁ con características agronómicas sobresalientes pero susceptibles a la enfermedad fueron cruzados con genotipos élite avanzados provenientes de cruzamientos interespecíficos con *C. canephora*.

Los resultados obtenidos demuestran el alto potencial de los híbridos desarrollados para fortalecer la productividad y sostenibilidad de la caficultura colombiana. Su desempeño superior frente a las variedades comerciales confirma su relevancia como base para futuros desarrollos del programa de mejoramiento y como una alternativa promisoría para avanzar en las metas institucionales de competitividad y sostenibilidad.

Subprograma MEG110. Mejoramiento por calidad de la bebida

Caracterización fenotípica y genotípica de los principales “varietales” establecidos en la zona cafetera colombiana. MEG11001

En los últimos años, se ha evidenciado un incremento en la presencia de varietales en concursos y subastas de cafés especiales en el país. Dichos materiales se asocian con atributos organolépticos sobresalientes que potencian su valor comercial, generando un creciente interés por parte de los caficultores. Se ha observado una expansión significativa de las áreas cultivadas con este tipo de genotipos, pasando del 0,7% del área sembrada en el año 2015, al 4,0% para la vigencia del año 2024.

No obstante, la mayoría de estos varietales no han sido desarrollados dentro de programas de mejoramiento genético, desconociéndose su origen, estabilidad y composición genética, lo cual representa un factor de riesgo para la sostenibilidad y rentabilidad del sistema productivo. Otro aspecto importante, es que no hay trazabilidad en la semilla ofrecida a los caficultores. Por esto, debe realizarse la caracterización fenotípica y genotípica de los principales varietales establecidos en la zona cafetera colombiana. Esto permitirá que los caficultores cuenten con información sólida y argumentos técnicos que les faciliten reconocer las diferentes variedades y tomar decisiones informadas al momento

de seleccionar el material genético con el cual establecer sus cultivos.

Hasta la fecha los resultados obtenidos son los siguientes:

Identificación de los varietales más reconocidos en el país. En 2024, con el apoyo del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros (FNC), se llevó a cabo una encuesta nacional orientada a identificar los varietales de café establecidos en las principales zonas productoras del país. Los departamentos donde más se distribuyen los varietales son: Huila, Tolima, Santander, Cauca y Nariño. Así mismo, se identificaron 68 varietales, siendo los de mayor frecuencia y relevancia en concursos de calidad y subastas de café de especialidad: Geisha, Borbón Rosado y Papayo (Figura 14).

Exploración en la Colección Colombiana de Café (CCC). Teniendo en cuenta la falta de información sobre la identidad y el origen de los varietales, para determinar si provienen de uno de los componentes de las variedades mejoradas desarrolladas por Cenicafé, de una variedad tradicional, de algún genotipo etíope, o si son una nueva selección. Se les determinó la huella genética empleando 41 marcadores KASP en 92 accesiones de la CCC.

Identificación de la huella genética de los varietales seleccionados. Se determinó la huella genética de los varietales Geisha, Borbón Rosado, Papayo, Chiroso, Borbón Ají y Ombigón. Estas huellas genéticas de los varietales se compararon con las huellas genéticas de las 92 accesiones de la CCC y se determinó el porcentaje de similitud entre ellas (Tabla 32). Se encontró que el Borbón Rosado se relaciona genéticamente con dos progenies componentes de variedad Colombia, Chiroso presenta alta similitud con dos genotipos del Programa de Mejoramiento de Cenicafé originados a partir del cruzamiento entre Caturra Rojo y Ciocce Tipo I; Borbón Ají se asemeja con la variedad Borbón Rojo y Papayo mostró alta similaridad genética con una progenie componente de la variedad Castillo®. Mientras que Geisha, efectivamente corresponde una de las tres accesiones de la Colección Colombiana de Café, identificada como Geisha. Específicamente, el mayor porcentaje de identidad corresponde a la accesión Geisha_A (CCC.66), la cual fue identificada alrededor de 1930 en la región de Gesha (Geisha), en el Suroeste de Etiopía. Posteriormente, fue trasladada a la estación experimental de Lyamungu, en Tanzania, donde evidenciaron su resistencia a la roya del café. Esta característica permitió su selección y posterior distribución hacia diferentes países, entre ellos, Colombia. Geisha_A corresponde al mismo genotipo registrado como Turrialba 2722, distribuido por el CATIE a diferentes países de Centroamérica, incluido Panamá.

Los resultados mostrados en esta investigación, permite establecer la identidad y origen genético que los principales varietales establecidos en la zona cafetera colombiana. Los resultados evidencian que varios de los varietales con amplia presencia en el país presentan alta similitud con materiales desarrollados o conservados por Cenicafé. Esta información constituye un insumo estratégico para fortalecer los procesos de trazabilidad, certificación y uso responsable de semilla, contribuyendo a la sostenibilidad, competitividad y rentabilidad de la caficultura colombiana.



Figura 63. Nube de palabras que representa la frecuencia de los principales varietales establecidos en Colombia. Entre más grande la palabra, más frecuente aparece en la encuesta realizada por el Servicio de Extensión de la FNC en 2024.

Tabla 32. Origen y porcentaje de Similitud de los varietales seleccionados con accesiones referencia de la CCC.

Varietal	Origen		Correlación Genética CCC	% Similitud
	Departamento	Municipio		
Borbón Rosado	Huila	Acevedo	Variedad Colombia	84-92
Caturra Chiroso	Antioquia	Urrao	Progenies Caturra Rojo x Cioccie Tipo I	80-97
Geisha	Etiopía	Etiopía	Geisha_A	>90
Borbón Ají	Huila	Pitalito	Borbón Rojo	80
Papayo	NE	NE	Variedad Castillo®	80-97

NE: No establecido

Poscosecha



Acondicionamiento del sistema de control de la máquina de clasificación de granos de café lavado, para su uso en cafés especiales y café comercial. POS101022

Se continuó con un proceso sistemático de ajustes tanto en el funcionamiento de la máquina como en los algoritmos que soportan su operación, con el fin de optimizar su desempeño y alcanzar niveles de precisión cada vez más altos.

Durante este proceso se evaluaron aspectos como la estabilidad de los motores, la respuesta del sistema de visión artificial y la interacción con los flujos de trabajo propios de la unidad. Los ajustes realizados, que en ingeniería se denominan ciclos de diseño, han permitido que la máquina presente un funcionamiento adecuado, manteniendo la confiabilidad en sus operaciones y aportando al fortalecimiento de los procesos de beneficio de semillas en el centro.

Una vez verificada una eficacia considerada aceptable para las condiciones de prueba iniciales, se procedió a trasladar e instalar el equipo en la Unidad para Beneficio de Semillas de Cenicafé (Figura 64). Esta etapa marcó el inicio de una nueva fase de calibraciones y adaptaciones, necesarias para garantizar que la máquina respondiera adecuadamente a las particularidades del nuevo entorno de operación. La Figura 65 muestra fotografías del café seleccionado (a) y el café rechazado (b) con la máquina en el mejor punto de operación encontrado hasta el momento. Se pretende reducir o eliminar el efecto de la luz ambiente en el nuevo lugar para encontrar un comportamiento más consistente.

Análisis de imágenes para la determinación rápida de la calidad física del café. POS101028

Se desarrolló un algoritmo capaz de identificar los bordes de los granos de café y extraer su área interna, definida como área de interés. A partir de las imágenes obtenidas y su segmentación, se evaluaron modelos lineales, cuadráticos y cúbicos para relacionar el número de píxeles en el área de interés con la masa de los granos. Los resultados mostraron que el modelo lineal presentaba el mejor ajuste. Con este factor, se implementó un algoritmo

que estima la masa de los granos a partir de las imágenes y analiza el área de interés para determinar la calidad del café lavado. Este sistema fue denominado CERPER IA. Una vez calibrado y ajustado, el sistema se sometió a cuatro pruebas comparativas con la versión anterior, CERPER 2.1. Los resultados se presentan en la Tabla 33 donde se observa que las pruebas 1 y 3 presentaron un comportamiento con exactitud aceptable, la prueba 2 presentó un error mediano, mientras que la prueba 4 presentó un error inaceptable.

Evaluación de un sistema de paneles solares para suministro de energía eléctrica en beneficiaderos de café. POS102004

El proyecto evaluó la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema fotovoltaico autónomo como fuente principal de energía en beneficiaderos de café, enmarcado en la búsqueda de soluciones sostenibles para la caficultura. Se diseñó e instaló un sistema compuesto por 18 paneles solares con capacidad instalada de $22,9 \text{ kWh-día}^{-1}$, un banco de baterías de almacenamiento y un inversor de onda pura, que en conjunto permitieron respaldar operaciones críticas del proceso de beneficio húmedo, tales como despulpado, clasificación, lavado y secado del café (Figura 66). Los resultados experimentales demostraron que el sistema generó un promedio de $20,67 \text{ kWh-día}^{-1}$, suficiente para cubrir la demanda energética del beneficiadero en condiciones normales de operación, presentando incluso excedentes que pueden ser redirigidos hacia otras actividades de la finca, como bombeo de agua o iluminación. La integración del sistema con la utilización de cisco de



Figura 64. Máquina seleccionadora de granos de café lavado.

Tabla 33. Factor de rendimiento y relación de frutos de café a café pergamino seco con el método CERPER 2.1 y con el método CERPER IA de Inteligencia artificial.

Tipo de CERPER	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Prueba 4	
	Factor	fc/cps	Factor	fc/cps	Factor	fc/cps	Factor	fc/cps
CERPER 2.1	88,87	5,01	88,70	5,96	88,99	5,82	99,79	6,32
CERPER IA	88,83	5,00	88,84	6,50	88,92	5,20	88,83	5,30

reducción de la huella de carbono estimada en 3.740 kg año de CO₂, atribuida principalmente al reemplazo de combustibles fósiles en las operaciones del beneficiadero y la valorización de los subproductos empleados como fuentes energéticas alternativas. En conclusión, la integración de energía solar con estrategias de economía circular permite el desarrollo de un beneficiadero autosuficiente, eficiente y ambientalmente responsable, demostrando que es posible reducir el impacto ambiental de la caficultura sin comprometer la productividad ni la calidad del café, y sentando bases para su replicación a mayor escala en el sector cafetero colombiano.

Diseño y evaluación de dos estructuras para secado solar de café. POS103011

Esta investigación tuvo como propósito comparar la eficiencia y durabilidad de diferentes estructuras para secado solar de café, con el fin de ofrecer alternativas más eficientes a los caficultores. Se construyeron y evaluaron tres secadores de área aproximada de 20 m²: un secador convencional con cubierta de tela plástica (testigo) y dos prototipos modulares y autoportantes con cubiertas en policarbonato macizo (3,0mm) y policarbonato alveolar (6,0 mm), ambos equipados con sistemas automatizados de extracción de aire y cortinas plásticas inferiores para favorecer el secado (Figura 67). Las pruebas se realizaron en dos localidades del Huila (Gigante y San Agustín), bajo condiciones climáticas contrastantes, secando 280 kg de café lavado hasta 10%-12% (b.h.). Los resultados demostraron que los secadores con cubiertas de policarbonato redujeron los tiempos de secado entre un 40% y 47% en comparación con el sistema testigo, manteniendo la temperatura interna del grano por debajo de 45°C, condición fundamental para la preservación de la calidad física y sensorial. Adicionalmente, se llevaron a cabo pruebas de exposición a la intemperie de los materiales de cubierta, observándose que los policarbonatos conservaron de manera estable su transmisión de radiación solar y resistencia mecánica, mientras que materiales plásticos convencionales como polietileno o telas sintéticas presentaron deterioro acelerado y pérdida significativa de eficiencia. El análisis económico proyectó tasas de retorno de la inversión entre 2,5 y 2,8 años, consolidando la viabilidad financiera de la tecnología para pequeños y medianos productores.



Figura 65. a. Café seleccionado como buena calidad; b. Café seleccionado como defectuoso.

café como biocombustible en el secado y con la captación de agua lluvia tratada mediante un filtro verde consolidó un modelo de gestión circular de recursos, en el que cada subproducto adquiere un valor dentro del ciclo productivo. El análisis ambiental evidenció una

Validar el control de caudal y temperatura del aire durante el secado mecánico de café en fincas seleccionadas del departamento del Huila. POS103012

Se evaluaron tres sistemas de control de caudal y temperatura (Q&T) para secadores de capacidades de 320, 1.000 y 3.000 kg de café



Figura 66. Beneficiadero sostenible de café con suministro de energía con paneles solares, cero vertimientos y con cosecha de aguas de lluvia para abasto.

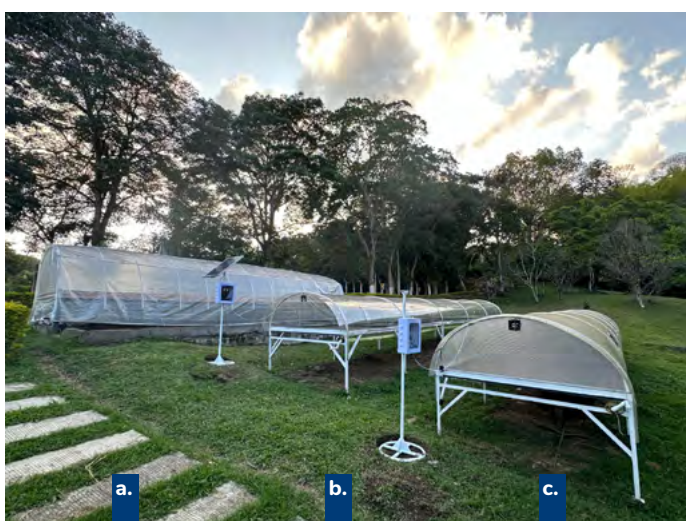


Figura 67. Secadores solares de tela plástica (a.), de lámina de policarbonato macizo (b.) y de lámina de policarbonato alveolar (c.).

pergamino seco (cps) que cumplieran condiciones técnicas específicas. En las evaluaciones se determinaron las variables temperatura del aire de secado y demanda de energía eléctrica (Figura 68).

Con base en los resultados experimentales y en datos históricos sin controlador, se calcularon los costos operativos considerando precios promedio de \$250/kg de cisco y \$1.000/kWh. Los resultados mostraron que el controlador Q&T permitió una reducción significativa de los costos de operación, con ahorro del 58,7% al trabajar al 25% de carga (capacidad de llenado del secador) y del 49,2% al 50% de carga, comparado con el funcionamiento sin controlador (Figura 69). Dicho ahorro tiende a desaparecer cuando el secador opera a plena capacidad nominal.

En promedio, el combustible representó el 71,65% de los costos totales, mientras que la energía eléctrica correspondió al 28,35%, evidenciando que la mayor

oportunidad de ahorro está en optimizar el uso del combustible. Además, el controlador Q&T mantuvo la temperatura de secado dentro de un rango estrecho ($\pm 3,0^{\circ}\text{C}$), mejorando la estabilidad térmica frente a sistemas tradicionales.

En conclusión, el uso del controlador Q&T permite operar los secadores mecánicos de café con cargas parciales de manera eficiente, reduciendo la demanda energética, evitando mezclas de cafés de distintos días y garantizando mayor uniformidad del proceso. Su capacidad de operar con energía bifásica de 220 V amplía las posibilidades de adopción entre caficultores, consolidándolo como una herramienta efectiva de ahorro, eficiencia y aseguramiento de la calidad del café.

Evaluación de prototipo industrial Gravimet SM para el seguimiento de la humedad del café durante el secado mecánico, en fincas seleccionadas del departamento del Huila. POS103013

Este proyecto tiene el objetivo de suministrar un dispositivo Gravimet SM diseñado para la fabricación industrial, realizado bajo los criterios de evaluación que faciliten la determinación de la humedad de manera objetiva, fácil y económica. El método GravimetSM2 se basa en el principio de conservación de la materia seca para seguir la pérdida de masa del agua durante el secado. A diferencia de su predecesor, el GravimetSM, este nuevo dispositivo fue rediseñado mediante un modelo en 3D y con tecnología de impresión 3D, eliminando el doble cilindro y optimizando sus dimensiones. Ahora utiliza una masa inicial fija de 700 gramos de café lavado y escurrido (con 53% de humedad) en un solo implemento (Figura 70), haciendo la medición más sencilla e independiente de la cantidad total de café en el secador. Las evaluaciones de campo en el departamento del Huila demostraron que el método GravimetSM2 es más preciso que los determinadores de humedad indirectos, con una diferencia absoluta promedio de 0,46% en comparación con el método de referencia de laboratorio (ISO 6673) (Tabla 33). En los ensayos, con el uso de este método, el 88,9% de las muestras de café estuvieron en el rango de humedad comercial.

Evaluación del uso de levaduras nativas en la fermentación en café. POS110005

Este proyecto se enmarca en el Convenio de Investigación CN-2020-1245, establecido con la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Su objetivo principal es evaluar el efecto de la inoculación de levaduras nativas durante la fermentación sobre la calidad del café. Tres

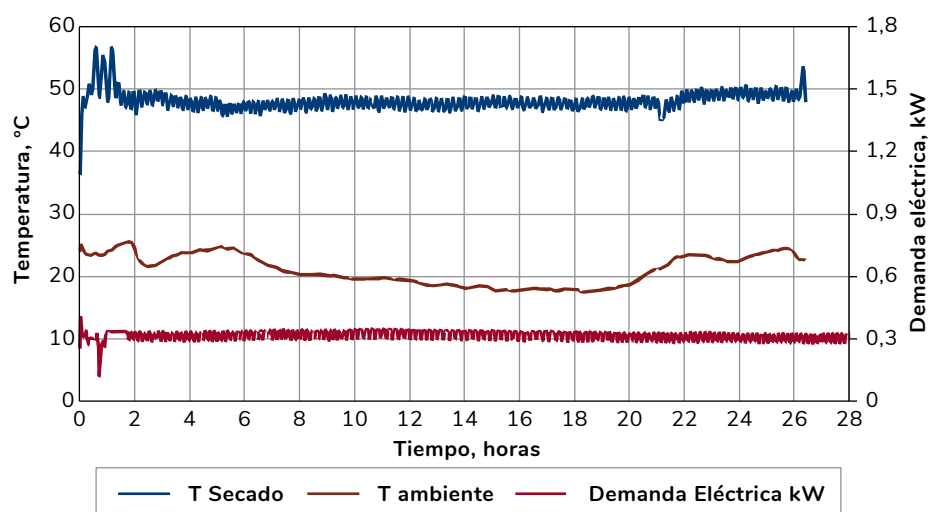


Figura 68. Controlador Q&T en un secador con capacidad de 320 kg de cps, trabajando al 50% de carga.

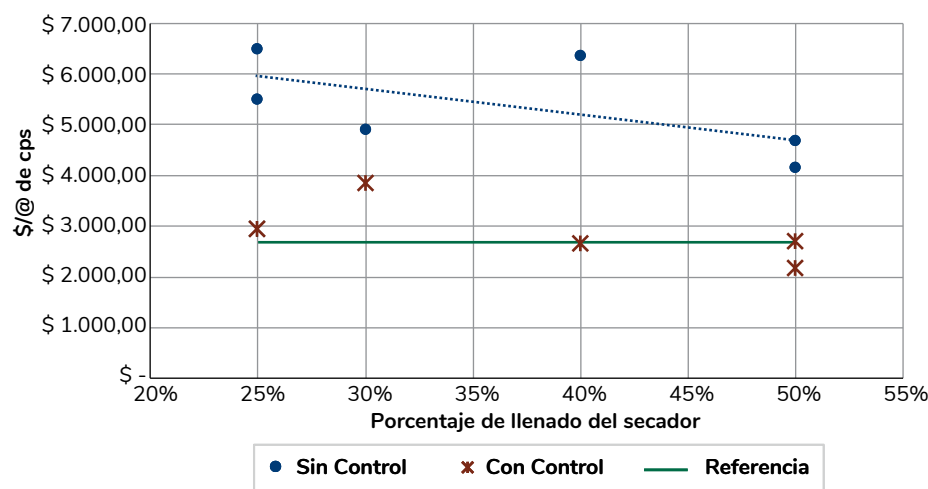


Figura 69. Costo de la energía eléctrica y el combustible de acuerdo a la carga del secador, con y sin controlador Q&T

cepas de levadura, procedentes de fermentaciones que produjeron café de alta calidad, fueron seleccionadas de acuerdo con su perfil fisiológico y capacidad de producción de compuestos volátiles orgánicos, que fueron percibidos posteriormente en el café. La identificación taxonómica se realizó mediante su huella metabólica suministrando 95 fuentes de carbono y posteriormente mediante la secuenciación del genoma completo que permitió tener la relación filogenética con un soporte de 100% para determinar el género y la especie correspondientes. Las cepas se identifican mediante los códigos 103, 109 y 351. Las curvas de crecimiento mostraron diferencias en la fase de latencia con 8,1 h, 9,8 h y 7,7 h para 103, 109 y 351, respectivamente. En el mismo orden, la velocidad máxima de crecimiento en biorreactor fue de 0,377 h⁻¹, 0,342 h⁻¹ y 0,553 h⁻¹, respectivamente. Las cepas se inocularon de manera individual sobre

Los ensayos se realizaron en doce fincas ubicadas en seis zonas agroecológicas (ZAE) del Huila, con dos fincas por zona, cada una de las cuales difería en al menos 200 metros de altitud. En todas las fincas se cultivaron variedades resistentes a la roya, como Castillo® general, Castillo® El Tambo, Cenicafé 1 y Colombia, siguiendo el protocolo estandarizado de las siete prácticas clave de poscosecha (7P®). En cada finca se aplicaron cuatro tratamientos de fermentación utilizando el método Fermaestro®: 0 horas (control) y la extensión del proceso por 4, 8 y 12 horas. Los lotes de café (300–400 kg) fueron procesados bajo condiciones controladas y la calidad se evaluó con los protocolos de catación de la *Specialty Coffee Association* (SCA). Como se observa en la Tabla 35 todas las muestras cumplieron con los estándares de café especial, con puntajes entre 80,75 y 86,25; de ellas, 40 fueron calificadas como muy buenas y ocho como excelentes.

café variedad Castillo, con concentración sobresaturada para observar comportamiento, en las variables de temperatura y pH. Adicionalmente, se sometieron a crecimiento variando condiciones de pH y temperatura, en las que se obtuvieron poblaciones en el orden de 10⁶ células/mL (Figura 71). Se identificó a 22°C como la temperatura menos favorable para el crecimiento y la mejor condición de pH varió dependiendo de la cepa, siendo la mejor de ellas 4,5 para la cepa 103 y 5,0 y 5,5 para las cepas 351 y 109, respectivamente. Con esta información, se establecerá el protocolo de inoculación de manera individual y en co-inoculación entre ellas, aplicando un diseño de bloques completos al azar en arreglo 2³, entre 2025 y 2026.

Evaluación de los tiempos de prolongación de la fermentación en la calidad en taza del café producido en el departamento del Huila. POS110007

Este estudio evaluó el impacto de la fermentación prolongada sobre la calidad sensorial del café en diferentes zonas con características similares de suelo, clima, orografía y desarrollo fenológico del fruto.

Tabla 34. Humedad del café pergamino seco (CPS) obtenido con secado mecánico determinada mediante GravimetSM2, determinador de humedad y método de referencia.

	Humedad final (b.h.)		
	GravimetSM2	Método indirecto	Método de referencia
Promedio	11,08%	10,72%	11,29%
Desviación estándar	0,74%	0,72%	0,72%
Error estándar	0,12%	0,12%	0,12%
Diferencia absoluta promedio		0,46±0,39%	0,26±0,18%



Figura 70. Implemento para el monitoreo de la humedad del café durante el secado mecánico Gravimet SM2.

El análisis estadístico mediante la prueba de Friedman no reveló diferencias significativas en los puntajes SCA asociadas con la duración de la fermentación o la ZAE. De manera similar, las pruebas de chi-cuadrado sobre los descriptores sensoriales no mostraron una relación consistente entre la fermentación prolongada y la presencia de notas florales, frutales o cítricas.

Además, la ZAE no influyó de manera significativa en la calidad de taza ni en los atributos de sabor. Estos hallazgos sugieren que, bajo las condiciones evaluadas, la fermentación prolongada moderada no impacta de forma significativa la calidad ni las características sensoriales del café. La obtención consistente de puntajes de especialidad en diversas ZAE resalta la efectividad del enfoque 7P® para asegurar la producción de cafés de alta calidad.

Evaluación de las fermentaciones anaerobias sobre la calidad en taza. POS110008.

Esta investigación corresponde a una de las actividades del proyecto de Ciencia y Tecnología ejecutado con recursos del Sistema General de Regalías del departamento de Huila, tuvo como objetivo evaluar el efecto de realizar la fermentación en café despulpado y en frutos bajo dos condiciones: semi-anaeróbica (tanque abierto, SA) y anaeróbica autoinducida (tanque cerrado, SIAF), durante períodos de hasta 192 horas. Se monitorearon variables como

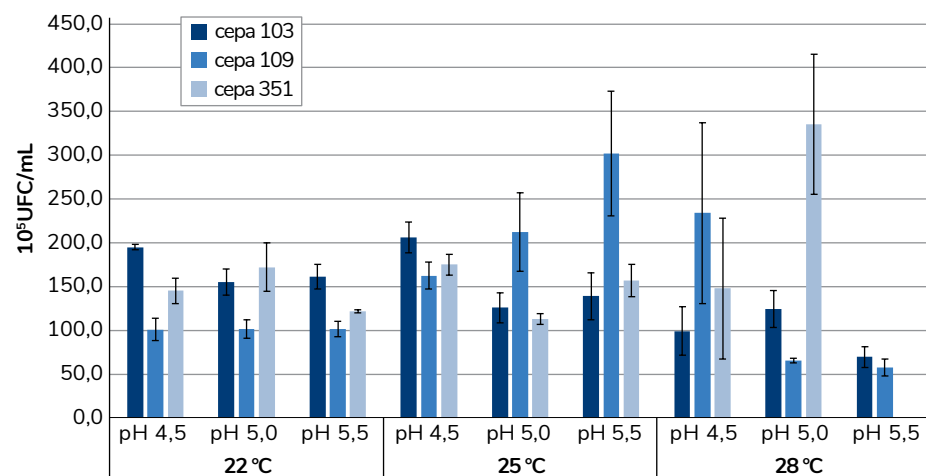


Figura 71. Valores promedio y error estándar para la concentración de células de tres cepas de levadura en diferentes condiciones de pH y temperatura.

temperatura, pH, consumo de glucosa, producción de ácido láctico, y composición microbiana, calidad física del grano, viabilidad del embrión y clasificación y perfil sensorial. Se determinó que la disponibilidad de oxígeno y el tiempo de fermentación son factores cruciales. La fermentación SIAF favoreció la actividad de bacterias ácido-lácticas como las del género *Weissella*, lo que se asoció con un mayor consumo de glucosa y producción de ácido láctico. Por otro lado, la condición semi-anaeróbica (SA) promovió una mayor abundancia de bacterias ácido-acéticas, principalmente del género *Acetobacter*, y temperaturas

Tabla 35. Puntajes SCA y descriptores de perfil de los cafés procesados en las 12 fincas.

ZAE	Finca	Tratamiento	Puntaje SCA	Descriptores
2	F01	Control	82,00	Tropical fruits, citrus, low acidity, cereal-like aftertaste, woody
		+4	83,25	Sweet, syrupy, honey, intense citrus, lingering aftertaste
		+8	82,50	Sweet, grapes, juicy, sugarcane, onion notes, unstable when cold
		+12	83,75	Sweet, caramel, winey, fruity, malt, berries
3	F02	Control	84,50	Sweet, honey, syrupy, melon, orange, clean; fine cup
		+4	84,00	Sweet, taffy-like, creamy, mellow cup, maple syrup
		+8	82,50	Caramel, sandy cup, vegetal, heavy
		+12	83,00	Sweet, caramel, spicy, lemongrass, nutty, round cup, short aftertaste
1	F03	Control	82,50	Chocolate, vegetal, dried fruits, toasted bread, cereal
		+4	82,50	Sweet, caramel, oily aftertaste, lemongrass, white chocolate, hay
		+8	82,50	Sweet, caramel, syrupy, green apple, citrus
		+12	84,25	Chocolate, green tea, clove, blackberries, light body
4	F04	Control	84,00	Floral, syrup, chocolate, robust body
		+4	85,50	Vanilla, sweet, Chantilly cream, sugarcane, apple
		+8	83,50	Floral, clean, fine, cacao
		+12	84,75	Floral, yellow fruits, full body, expressive
4	F05	Control	85,25	Floral, chamomile, pear flavor, malt, citrus, grapes, full body
		+4	84,50	Honey, taffy, chocolate, syrup, mandarin acidity
		+8	85,50	Honey, mandarin, juicy, floral, caramel, pollen
		+12	85,25	Sweet, peach, sugarcane, perfumed, mandarin
1	F06	Control	80,75	Chocolate, cereal flavor, low, gritty body
		+4	80,75	Rubber fragrance, chocolate flavor, light, vegetal
		+8	81,25	Chocolate, vegetal, cereal, straw
		+12	80,75	Honey, dark chocolate, heavy body
5	F07	Control	83,75	Jasmine, clean, caramel, coffee blossom, almond, citrus
		+4	84,25	Honey, sweet, caramel, chocolate, long-lasting aftertaste
		+8	86,25	Honey, vanilla, pollen, complex, fine, peach, stone fruits
		+12	84,75	Jasmine, caramel, medium body, molasses, spicy

Continúa...

...continuación.

ZAE	Finca	Tratamiento	Puntaje SCA	Descriptorios
6	F08	Control	83,00	Honey, caramel, cinnamon, high acidity, short aftertaste, cereal
		+4	83,25	Sweet, syrup, caramel, creamy body
		+8	83,75	Sweet, blackberries, Nutella, chocolate, creamy body
		+12	82,25	Chocolate, caramel, cereal, short aftertaste, lacks sweetness
2	F09	Control	86,25	Jasmine, aromatic, grapes, sweet, juicy, fine
		+4	84,25	Sweet, sugarcane, structured, syrupy, long-lasting
		+8	85,25	Coffee blossom, vanilla, sweet, orange peel, clean
		+12	84,25	Jasmine, honey, red fruits, taffy-like, brown sugar, juicy
6	F10	Control	84,5	Red fruits, caramel, cane, rose tea, wild blackberries, medium body, herbal aftertaste
		+4	84,0	Dark chocolate, sugarcane, yellow fruits, watery light body, short aftertaste
		+8	84,5	Red fruits, cacao, blackberries, sweet, delicate, full body, bright acidity, lingering aftertaste
		+12	84,5	Citrus, sugarcane, lemongrass, sweet, chocolate, orange peel, juicy body, herbal aftertaste
3	F11	Control	84,0	Yellow fruits, sweet, sugarcane, caramel, grapefruit, citric acidity, astringent aftertaste
		+4	84,5	Floral, cane, sweet, chocolate, jasmine, delicate, soft, short vegetal aftertaste
		+8	84,0	Chocolate, sugarcane, red fruits, aromatic, delicate body, short aftertaste, medium acidity
		+12	84,5	Floral honey, cane, aromatic, lime, sweet, medium acidity, juicy body, lingering aftertaste
5	F12	Control	82,25	Sugarcane, orange, peanut, weak, flat, lingering aftertaste
		+4	83,75	Nuts, sugarcane, sweet, citrusy, herbal, light body, dried fruits
		+8	84,50	Fruity, sugarcane, lime citrus, medium acidity, creamy body
		+12	85,25	Sugarcane, dried fruits, red fruits, citric acidity, silky body, pleasant aftertaste

más elevadas, hasta 37°C (Figura 72A). Los géneros *Pichia*, *Issatchenkia* y *Wickerhamomyces* fueron las levaduras afectadas por las condiciones de fermentación (Figura 72B). Aunque la calidad sensorial de la bebida se mantuvo alta en la mayoría de los tratamientos, con puntuaciones de café de especialidad, la calidad física y la viabilidad del embrión del grano se vieron significativamente afectadas. Tiempos de fermentación prolongados, especialmente bajo condiciones semi-anaeróbicas, llevaron a una disminución considerable del porcentaje de granos sanos y de la viabilidad del embrión. Para integrar los resultados, se desarrolló un Índice de Calidad de Fermentación (QFI). Este índice demostró que los mejores resultados generales se obtuvieron en fermentaciones más cortas (menos de 96 horas) bajo la condición SIAF, tanto para café despulpado como en fruto, ofrecieron los mejores resultados de calidad general.

Adicionalmente se realizó la identificación de hongos filamentosos, en fermentaciones prolongadas, especialmente bajo condiciones SA. Se realizó la caracterización macro y microscópica de siete morfotipos, identificando géneros como *Fusarium*, *Curvularia*, *Cladosporium* y *Penicillium*. Mediante secuenciación de la región ITS, se identificaron 3.438 OTUs de hongos filamentosos, representando el 0,73% de la comunidad fúngica total. Los géneros más abundantes a 192 h fueron *Aspergillus* en fermentaciones SA, y *Fusarium* en las SIAF. A pesar de la mayor presencia de géneros potencialmente productores de micotoxinas, los niveles de Ocratoxina A (OTA) se mantuvieron por debajo de los límites de detección (<0,8 ppb), lo que sugiere que las fermentaciones húmedas prolongadas no comprometieron la inocuidad del café en este aspecto, debido principalmente a la aplicación rigurosa de las prácticas del proceso 7p®.

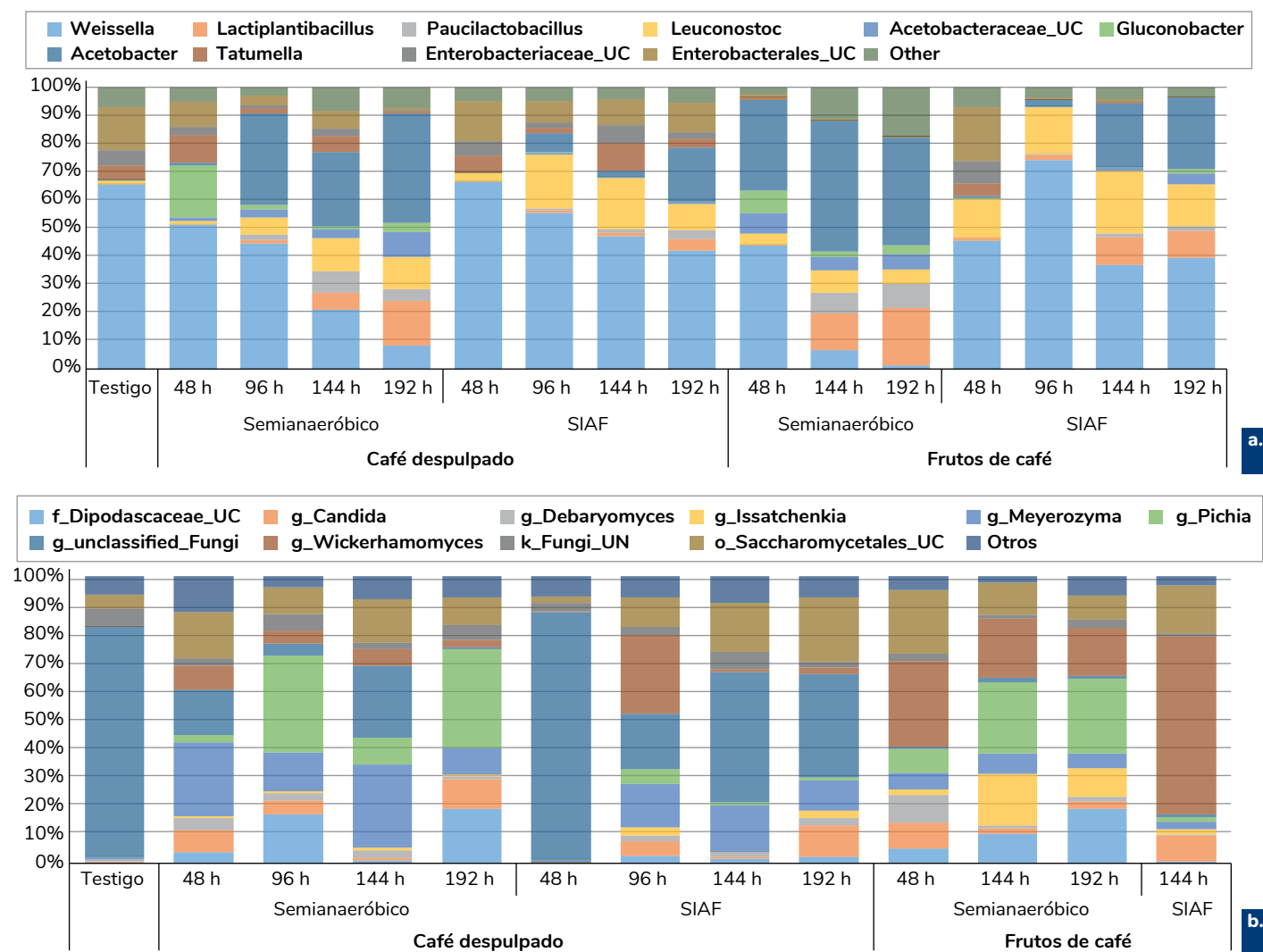


Figura 72. Abundancia relativa (%) para géneros de bacterias **a.** y levaduras **b.** según clasificación metataxonómica de la región 16S e ITS, en fermentaciones con dos tipos de materia prima y condiciones de fermentación.

Evaluación de acelerantes para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. POS106007

Con el fin de disminuir el tiempo y el área necesaria para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico y obtener un producto estable y maduro que no genere problemas de fitotoxicidad durante su uso (Figura 73), se validó en una tercera etapa, a escala de campo en tres estaciones experimentales de Cenicafé, el acelerante comercial seleccionado en la segunda etapa (piloto) por presentar el mejor desempeño, el cual contenía la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, y hongos del género *Trichoderma* spp., evaluando su comportamiento en relación con la pulpa de café sin acelerante, utilizando unidades experimentales de una tonelada. El proceso de transformación de la pulpa de café en abono orgánico se ha evaluado durante 40 semanas, realizando volteos semanales y análisis físico-químicos (relación C/N, humedad, pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, temperatura, tasa de respiración y tasa de germinación). A través de la experimentación realizada logró determinarse que no se presentaron ventajas competitivas en el proceso de transformación de la pulpa de café cuando se utilizó el acelerante comercial, concluyendo que la adición de este tipo de microorganismos eficientes no tiene un efecto significativo en el proceso de compostaje de la pulpa en tamaños superiores a la tonelada, dado que la riqueza microbiológica de la pulpa es muy alta y participa de forma eficiente en el proceso de transformación en abono orgánico.

Manejo de aguas mieles, con recirculación completa, mediante procesadores de pulpa tipo invernadero. POS104012

Con el fin de generar una estrategia que permita cero descargas líquidas (eliminación de vertimientos) para el manejo de las aguas residuales del café en su mezcla

con la pulpa, durante las etapas de almacenamiento y producción de abono orgánico, en los procesadores de pulpa, se evaluó en procesadores tipo invernadero el proceso de deshidratación y transformación de la pulpa sola y mezclada con arvenses sobre las cuales se adicionaron, según el tratamiento, mieles de la tecnología Ecomill®, los dos y cuatro enjuagues provenientes del lavado en tanques de fermentación. En la cuarta réplica del experimento, para masas de pulpa fresca de café de 75,0 kg de peso y 1,0 m de altura, que las pérdidas de humedad durante el primer mes, simulando una quincena pico en la cual se está adicionando pulpa fresca diariamente sobre el material ya presente en el procesador, se determinó una pérdida de agua promedio por evaporación de 0,024 L kg⁻¹ de sustrato inicial, lo que es equivalente, en volumen, a la evaporación del mucílago que se genera de forma simultánea con la pulpa y a la evaporación del agua utilizada en un proceso de beneficio con consumo de hasta 5,8 L kg⁻¹ de cps, que abarcaría tecnologías como el Ecomill®, el Becolsub y el lavado del café en los tanques de fermentación, permitiendo que se alcance el objetivo de cero vertimientos en el manejo de las aguas mieles en el procesador de pulpa.

Desarrollo de estrategias para cosecha, tratamiento y uso del agua de lluvia en fincas cafeteras como medida de adaptación a la variabilidad climática. POS104014

A través de la presente investigación se pretende diseñar sistemas para la cosecha, almacenamiento, tratamiento y uso del agua de lluvia para consumo humano, actividades domésticas, beneficio de café y riego de cafetales en etapa de levante, en las fincas cafeteras, con el propósito de obtener el agua de lluvia en las temporadas lluviosas y almacenarla y tratarla para satisfacer las necesidades hídricas de una finca cafetera promedio, para el consumo humano, doméstico, de beneficio de café y riego de cafetales en levante, durante



Figura 73. Compostaje de pulpa de café con acelerantes prueba de validación.

al menos un período de sequía de tres meses. Durante este año se construyeron las obras civiles en la Estación Experimental Naranjal, relacionadas con el pretratamiento, la captación, conducción y almacenamiento de las aguas de lluvia cosechadas y se recolectaron muestras de aguas de lluvia para su caracterización físico-química y microbiológica, determinando que las mismas cumplen, en los parámetros químicos analizados, con los valores límites máximos admisibles para su destinación para el consumo humano (Resolución 2115 del 2007), pero que no hay cumplimiento en parámetros como el pH, que está en el rango ácido, y en el recuento de coliformes totales y fecales, por lo que el agua de lluvia no tiene una calidad microbiológica apta para ser utilizada para el consumo humano. Por lo anterior, se hace necesario realizar un tratamiento a las aguas de lluvia cosechadas con el fin de acondicionarles el pH y eliminar la carga microbiana patógena con el propósito de utilizarla en actividades domésticas y agrícolas, sin poner en riesgo la salud de las personas y la calidad de los productos procesados.

Desarrollo de estrategias de manejo, tratamiento y valorización de la biomasa residual generada en las fincas cafeteras como medida de mitigación a la variabilidad climática. POS106009

A través de la presente investigación se pretende desarrollar estrategias de manejo, tratamiento y

valorización de la biomasa residual generada en las fincas cafeteras que permitan disminuir las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) como medida de mitigación a la variabilidad climática. Durante este año se continuó con la etapa piloto en la Estación Experimental Naranjal, culminando la fase de caracterización físico-química de la biomasa residual generada en la misma. Se inició con el protocolo de descomposición de la pulpa de café mediante larvicultura, utilizando sets de tres canastillas plásticas, conteniendo cada una de ellas entre 16 y 17 kg de pulpa de café fresca e inoculada con larvas de la mosca soldado negra, a razón de 100 larvas de una semana de nacidas por kilogramo de pulpa fresca. Se realizaron monitoreos semanales de pH, conductividad eléctrica, humedad, respirometría y fitotoxicidad a la pulpa en proceso de larvicompostaje. Se determinó, que el ciclo para pasar del estado de larva al estado de pupa, para la mosca soldado negra, fue de aproximadamente 30 días y que no se presentaron lixiviados en el proceso de larvicultura de la pulpa de café. La tasa de consumo de pulpa por parte de la larva fue de aproximadamente 100 mg d⁻¹ y para el ciclo completo de 30 días, de 2,0 g de pulpa de café/larva. Se determinó que la pulpa de café descompuesta por las larvas de la mosca aún presenta valores altos de pH, alta tasa de respiración y bajos porcentajes de germinación, siendo necesario someterla a procesos de postcompostaje para alcanzar su estabilidad y madurez de forma que pueda ser utilizada como abono orgánico.

Suelos



Su uso debe hacerse racionalmente y con criterios técnicos de calibración, dosificación y oportunidad para evitar fitotoxicidad al cultivo y disminuir el riesgo de resistencia.

Evaluación de alternativas para el control químico de arvenses gramíneas de interferencia alta en el cultivo del café. SUE103009

Evaluación de alternativas para el control químico de arvenses de hoja ancha de interferencia alta en el cultivo del café. SUE103008

El uso de algunos herbicidas químicos en la caficultura presenta restricciones debido al desarrollo de resistencia de las arvenses y posibles impactos en la salud humana y el medioambiente. Se evaluaron diferentes alternativas de herbicidas al glifosato en dosis comercial para el control de arvenses de hoja ancha, sin afectar la producción del café. La investigación se llevó a cabo en las Estaciones Experimentales Naranjal (Caldas) y Paraguaicito (Quindío), en siembras nuevas de café y renovaciones por zoca, respectivamente. Los tratamientos consistieron en mezclas de glifosato (720 y 1.080 g ha⁻¹ de i.a.) con metsulfurón-metilo (15 g ha⁻¹ de i.a.), bensulfurón-metilo (50 g ha⁻¹ de i.a.) o carfentrazona-etilo (30 g ha⁻¹ de i.a.). Las dosis reducidas y comerciales de glifosato (1.080 y 1.440 g ha⁻¹ de i.a., respectivamente) y manejo manual-mecánico. Se realizaron entre cinco a seis aplicaciones por localidad hasta los 24 meses del cultivo. Se evaluó el porcentaje de cobertura de arvenses entre siete y 63 días después de la aplicación (dda), la fitotoxicidad en el café y la producción de café cereza del primer año. Los resultados mostraron que la mezcla de glifosato con carfentrazona-etilo alcanzó un control de arvenses efectivo a los siete y 21 dda. En tanto, las mezclas de glifosato con metsulfurón-metilo y bensulfurón-metilo fueron eficaces entre los 21 y 63 dda, superando a la dosis comercial de glifosato. La mezcla de glifosato con metsulfurón-metilo causó leve fitotoxicidad en el café en siembras nuevas. No se encontraron diferencias significativas en la producción de café cereza entre los tratamientos con herbicidas. Estas alternativas permiten reducir las dosis de glifosato entre 25% y 50% y mejoran el control de arvenses, sin afectar la productividad del café.

Esta investigación se realiza en Naranjal y Paraguaicito, en lotes de variedad Cenicafé 1 en etapa de levante. Para el control de arvenses gramíneas se evalúan nueve tratamientos (g ha⁻¹ de ingrediente activo) así: 1. cletodim-180, 2. cialofop-butyl-360, 3. cletodim-180+quizalofop-P-etil- 90, 4. glifosato-1.080+cletodim-120, 5. glifosato-1.080+cialofop-butyl-270, 6. glifosato- 1.080+[cletodim 120+quizalofop-P-etil 60], 7. glifosato-1.080, 8. glifosato-1.440 y 9. guadañadora. Inicialmente predominaron las arvenses: *Panicum laxum* en Naranjal y *Paspalum conjugatum* en Paraguaicito, con poblaciones tolerantes y susceptibles a glifosato, respectivamente. Las aplicaciones se realizan 15 días después del corte con guadañadora, con equipo de aspersión manual, boquilla Teejet 80-01, a 0,14 MPa, y 250 L ha⁻¹ de volumen. Después de 28 días de la aplicación, se evalúa el porcentaje de cobertura de gramíneas (CG) y arvenses nobles (AN). Se presentan los resultados de la segunda aplicación, bajo el análisis de varianza y pruebas de comparación Dunnett y de contrastes al 5%. En Naranjal se lograron los valores menores de CG (<3%), con los tratamientos 1, 2 y 3. Estos fueron iguales entre sí y diferentes a los tratamientos 8 y 9 (CG de 39% y 34%). Los tratamientos 4 y 5 no disminuyeron la CG, mientras el tratamiento 6 lo redujo al 17% (Figura 74). En Paraguaicito todos los tratamientos que utilizaron glifosato, continuaron obteniendo los menores valores de CG (<1,9%); sin embargo, en los tratamientos 1 y 3 se registraron niveles de CG promisorios (<3%) y en el tratamiento 2 niveles favorables (10,5%) frente al tratamiento 9 con CG de 81,5% (Figura 75). En Naranjal y Paraguaicito, los graminicidas aplicados individualmente favorecieron la cobertura de AN en niveles de 65% y 43%, respectivamente (Figuras 74 y 75). Los resultados son promisorios para sustituir al glifosato en el control de arvenses gramíneas, favoreciendo las AN. Su uso debe hacerse racionalmente para disminuir el riesgo de resistencia.

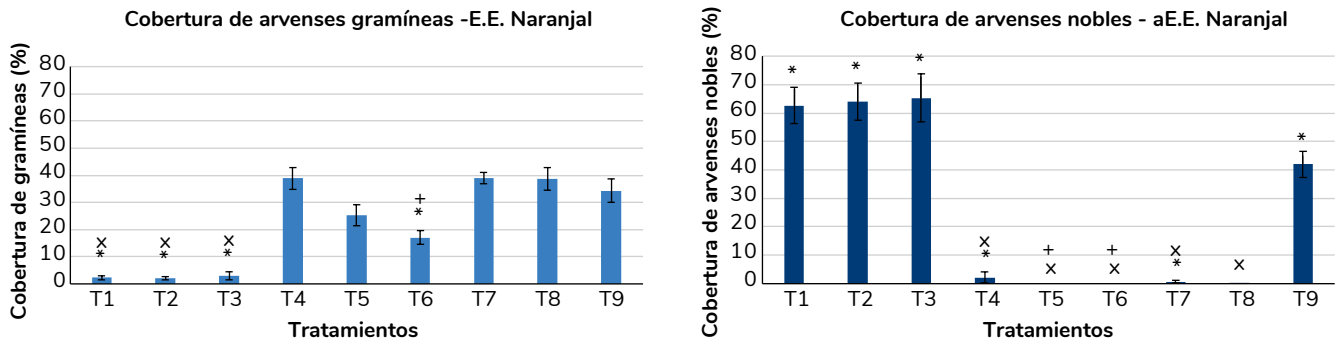


Figura 74. Valores promedio del porcentaje de cobertura de arvenses gramíneas de interferencia alta y de arvenses nobles, evaluada 28 días después de la segunda aplicación de diferentes tratamientos de control de arvenses en la Estación Experimental (E.E.) Naranjal. Las líneas sobre las barras indican el error estándar. *Indica diferencias estadísticas frente a T8 según prueba Dunnett al 5%; x indica diferencias estadísticas frente a T9 según prueba Dunnett al 5%; + indica diferencias estadísticas al comparar T4, T5 y T6 frente a T7 según prueba Contrastes al 5%.

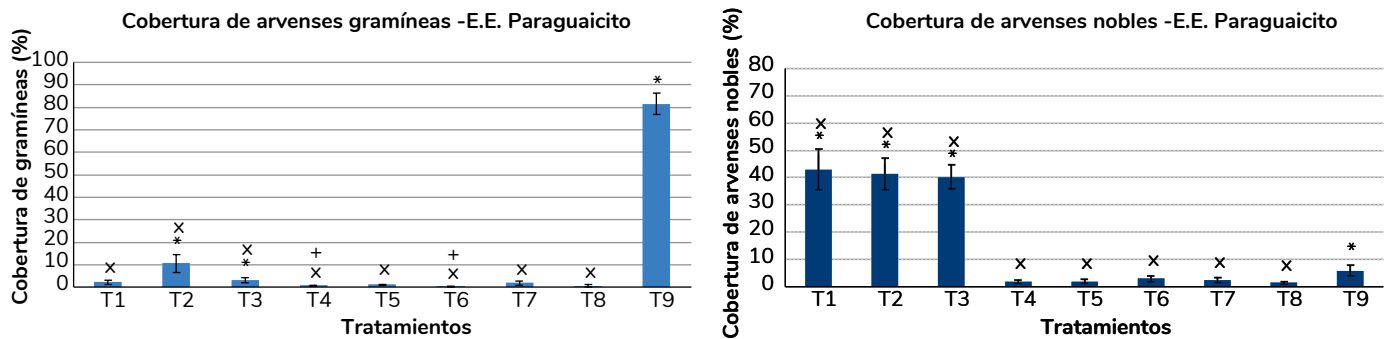


Figura 75. Valores promedio del porcentaje de cobertura de arvenses gramíneas de interferencia alta y de arvenses nobles, evaluada 28 días después de la segunda aplicación de diferentes tratamientos de control de arvenses en la estación experimental (E.E.) Paraguaicito. Las líneas sobre las barras indican el error estándar. *Indica diferencias estadísticas frente a T8 según prueba Dunnett al 5%; x indica diferencias estadísticas frente a T9 según prueba Dunnett al 5%; + indica diferencias estadísticas al comparar T4, T5 y T6 frente a T7 según prueba Contrastes al 5%.

Identificación de estrategias para propagar arvenses nobles en el cultivo de café como práctica de Agricultura Regenerativa. SUE103010

La caficultura regenerativa promueve la productividad, vinculada al cuidado del medioambiente y a la acción climática, donde las coberturas del suelo son clave para su implementación. En algunas fincas cafeteras se dificulta el establecimiento de arvenses nobles (AN), dado que no siempre están disponibles. Por lo anterior, se inició esta investigación de tipo exploratorio con la cofinanciación de Starbucks FSC Colombia, con el objetivo de identificar estrategias de propagación de AN en el cultivo del café, que contribuya a su establecimiento efectivo en las fincas cafeteras. Se ha avanzado en forma simultánea en tres etapas: **1.** Selección de semillas y material vegetal propagativo de AN, en las Estaciones Experimentales La Trinidad (Tolima), Paraguaicito (Quindío) y Naranjal (Caldas), **2.** Evaluación de viabilidad de semillas de AN en laboratorio, **3.** Propagación de AN por semilla y propagación vegetativa en condiciones de vivero en Naranjal. En una cuarta etapa se proyecta en Naranjal, en un corto plazo, la propagación en parcelas de café de las AN

de mejor adaptación. En el vivero, durante dos meses, se han realizado 80 pruebas de propagación de 36 especies de AN, para un total de 249 unidades o submuestras; lo anterior, empleando los métodos de siembra de semillas, bulbos, estolones y plantas enteras. Las arvenses de mejor adaptación en vivero por propagación vegetativa han sido *Hyptis atrorubens*, *Drymaria cordata*, *Callisia gracilis*, *Dichondra repens*, *Hydrocotyle leucocephala*, *Tradescantia zebrina* y *Portulaca oleracea*, y por semilla *Peperomia pellucida*. Las pruebas de germinación en laboratorio de diez especies, muestran a *Drymaria cordata*, *Youngia japonica* y *Desmodium adscendens* con los mejores valores de germinación, de 48%, 55% y 70%, respectivamente. Con este proyecto se abre la posibilidad de propagar y multiplicar arvenses nobles para la caficultura.

Estimación del contenido de carbono orgánico del suelo en la zona cafetera colombiana. SUE105003.

Se avanzó en la investigación para estimar el contenido de carbono orgánico total del suelo (COS) en la zona cafetera colombiana. Con apoyo del Servicio de Extensión, se tomaron muestras de suelo en 141 lotes cafeteros

de los departamentos de Risaralda, Quindío y Huila. En cada lote se tomaron cuatro muestras con cilindro de 30 cm de profundidad y 5 cm de diámetro. Por el método de calcinación, con una temperatura de 360°C por dos horas, se determinó el carbono orgánico total (COS_T), el asociado (COS_A) y el particulado (COS_P). En Huila el valor promedio de COS fue de 162,7 Mg ha⁻¹ con un coeficiente de variación (CV) del 50,3%, y contenidos promedio de COS_T , COS_P y COS_A de 5,0%, 2,8% y 2,0%, respectivamente, la densidad aparente (Da) promedio fue de 1,34 Mg m⁻³ con CV de 19,5% y el factor de corrección por pedregosidad (FP) promedio de 0,91 con CV de 16,8%. En Quindío el valor promedio de COS fue de 158,1 Mg ha⁻¹ con un CV del 29,3%, los contenidos promedio de COS_T , COS_P y COS_A fueron de 5,4%, 3,2% y 1,4%, respectivamente, la Da promedio de 1,06 Mg m⁻³ con CV de 21,9% y un FP promedio de 0,98 con CV de 9,1%. En Risaralda el valor promedio COS fue de 195,01 Mg ha⁻¹ con CV del 25,1%, contenidos promedio COS_T , COS_P y COS_A de 7,9%, 6,7% y 1,5%, respectivamente, la Da promedio fue de 0,87 Mg m⁻³ con CV de 22,5% y un FP promedio de 0,98 con CV de 5,4% (Tabla 36). Las reservas de carbono orgánico del suelo en el perfil superior (0–30 cm) de los agroecosistemas cafeteros son fundamentales para los objetivos de acción climática. Específicamente, en los departamentos de Huila, Quindío y Risaralda, estas reservas exhiben un rango promedio significativo, que oscila entre 158 y 195 Mg ha⁻¹.

Evaluación del efecto del yeso en la producción de café en suelos ácidos. SUE104039

Existen diferentes prácticas para afrontar los problemas de la acidez de los suelos, siendo la más común el uso de materiales encalantes, principalmente la dolomita. El mayor efecto de esta enmienda ocurre cuando la aplicación se realiza en los primeros 10 cm de profundidad del suelo. Una alternativa complementaria al encalado consiste en el uso del yeso agrícola (sulfato de calcio di-hidratado), el cual además de neutralizar el aluminio intercambiable en las capas más profundas del suelo, proporciona calcio y azufre. Esta investigación tiene como objetivo evaluar en suelos ácidos el efecto de la aplicación de yeso, como complemento del encalado, en la producción de café. Para esto, en el primer semestre del año 2021 se establecieron campos experimentales en las Estaciones Experimentales El Rosario (Antioquia), Paraguaicito (Quindío) y San Antonio (Santander) y, un año después, bajo el diseño de bloques completo al azar se aplicaron dosis de yeso equivalentes a 0, 1, 2, 3 y 4 t ha⁻¹. Hasta el momento, los resultados obtenidos en las Estaciones El Rosario y Paraguaicito no revelan efecto de la aplicación del yeso en la producción de café (Tabla 37). En San Antonio se observó un incremento en la cosecha del año 2024 cuando se usó

una dosis de 2 t ha⁻¹, resultando en un incremento de la producción acumulada. Durante el año 2025 se realizaron mediciones de algunas variables de crecimiento de las plantas, específicamente altura, longitud de la rama más larga y biomasa seca de una porción de raíces. En ningún tratamiento se encontró efecto de la aplicación del yeso.

Evaluación del efecto de diferentes proporciones de pulpa de café aplicadas en la siembra sobre la producción de café. SUE104040

En Colombia, la pulpa de café constituye la principal fuente de abono orgánico en las fincas cafeteras. Estudios recientes han demostrado que, en la etapa de almácigo, las proporciones de mezcla de suelo y pulpa cercanas a 9:1 pueden ser adecuadas; sin embargo, hace falta información acerca de estas proporciones durante la etapa del establecimiento del café. La siguiente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto sobre la producción de café de diferentes proporciones de la pulpa de café, incorporada al suelo antes de la siembra. Para esto, desde el año 2021 se evalúan el efecto de seis tratamientos, con diferentes proporciones de mezcla de suelo y pulpa (3:1, 4:1, 6:1, 9:1, 19:1 y 1:0) en la producción de café en las Estaciones Experimentales: Naranjal (Caldas), Paraguaicito (Quindío), La Trinidad (Tolima) y San Antonio (Santander). En las cuatro localidades, a excepción de San Antonio, las evaluaciones finalizaron luego de dos cosechas. Se presentó efecto de los tratamientos en dos Estaciones. En Naranjal, la producción obtenida en el tratamiento sin pulpa durante el año 2023 fue menor que la obtenida con el tratamiento 3:1 de suelo y pulpa. En San Antonio, para la cosecha del año 2024 el promedio de la producción del Testigo sin pulpa fue menor que las relaciones de suelo y pulpa 6:1 y 3:1. Durante el año 2025 (enero a junio), la producción obtenida en el Testigo fue inferior al tratamiento suelo-pulpa 3:1 y, para el acumulado de la producción el Testigo mostró menores producciones que los tratamientos mezcla de suelo y pulpa: 3:1, 4:1 y 6:1 (Tabla 38). Estos resultados indican que la respuesta a la incorporación de la pulpa de café al suelo del hoyo antes de la siembra del café depende de las condiciones predominantes del sitio, principalmente de las características del suelo.

Modelación del balance de nutrientes en los sistemas de producción de café ante la variabilidad climática. SUE105007

El balance de nutrientes busca determinar la cantidad de macro y micro elementos esenciales que ingresan y salen en un sistema agrícola. Esta investigación, enmarcada en el proyecto Colombia Agroalimentaria Sostenible y

financiado por el Fondo Verde del Clima y el Gobierno Nacional, tiene como objetivo modelar el balance de nutrientes en los sistemas de producción de café ante la variabilidad climática. Durante este período se midió la biomasa seca de café en cinco Estaciones Experimentales, así como la fijación de carbono y extracción de nutrientes por los cultivos de maíz y fríjol intercalados con el café en las Estaciones Naranjal (Caldas) y La Trinidad (Tolima). Los mayores promedios de la materia seca de las plantas de café de 60 meses de edad se registraron en la Estación Naranjal (74 t ha^{-1}) y los menores en El Tambo (23 t ha^{-1}). Para el cultivo de maíz, la cantidad total de carbono (C) fijado por el cultivo en Naranjal (8 t ha^{-1}) fue menor que en La Trinidad (10 t ha^{-1}). En este caso, el contenido más alto de C estuvo en las semillas, representando entre 34% y 44%, y el menor contenido en las raíces, con una representación del 5% al 8%. En las dos localidades se presentó el siguiente orden en la extracción de nutrientes: nitrógeno $\text{N}=\text{K}>\text{P}>\text{Ca}=\text{Mg}=\text{S}>\text{Fe}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{B}>\text{Cu}$. Para el cultivo de fríjol, la cantidad total de carbono (C) fijado por el cultivo en Naranjal (2 t ha^{-1}), fue menor que en

La Trinidad (4 t ha^{-1}); al respecto, el mayor contenido de C estuvo en las semillas, representando entre 43% y 50%, y el menor contenido en las raíces, con una representación del 3% y 4%. Para este cultivo se encontró el siguiente orden en la extracción de nutrientes: $\text{N}>\text{K}>\text{Ca}>\text{P}>\text{Mg}>\text{S}>\text{Fe}>\text{Mn}>\text{Zn}>\text{B}>\text{Cu}$. En general, se detectó una mayor acumulación de todos nutrientes en la Estación La Trinidad.

Evaluación del efecto de la aplicación de leguminosas como abono verde durante la fase de levante del cultivo del café, en la producción. SUE104041

Se evaluó el efecto de abonos verdes (AV) en la producción de café en Naranjal, Paraguaicito y El Tambo. Los tratamientos (Tabla 39), consistieron en la aplicación de tres dosis de nitrógeno (0%, 50% y 100%) según el análisis de suelos, complementadas con el suministro de la biomasa de AV de las leguminosas guandul o tefrosia,

Tabla 36. Valores descriptivos del contenido de carbono orgánico del suelo.

	Carbono orgánico total (%)	Carbono particulado (%)	Carbono asociado (%)	Densidad aparente (Mg kg^{-1})	Factor de Corrección pedregosidad	Stock de Carbono Orgánico (Mg ha^{-1})
Huila n= 95						
Promedio	5,01	2,86	2,04	1,30	0,92	162,69
Máx.	16,71	12,50	4,88	1,81	1,00	388,53
Min.	1,44	0,27	0,35	0,45	0,30	39,11
Mediana	4,19	2,07	1,80	1,29	1,00	148,83
CV. (%)	83,16	192,49	28,08	19,96	16,85	50,31
Quindío n= 14						
Promedio	5,42	3,26	1,37	1,06	0,98	158,16
Máx.	10,04	7,07	2,42	1,47	1,00	238,60
Min.	2,66	1,22	0,43	0,69	0,67	97,85
Mediana	4,54	2,43	1,34	1,04	1,00	159,39
CV. (%)	41,29	55,05	42,37	21,98	9,13	29,32
Risaralda n= 32						
Promedio	7,90	6,69	1,50	0,87	0,98	195,01
Máx.	12,73	11,52	3,15	1,34	1,00	348,80
Min.	3,83	3,02	0,35	0,62	0,74	123,78
Mediana	8,39	7,11	1,55	0,82	1,00	196,50
CV. (%)	29,35	29,63	45,69	22,51	5,48	25,16

Tabla 37. Valores promedio con errores estándar de la producción de café (kg/parcela), años 2024 y 2025 (enero a junio), y producción acumulada de 2022 a 2025, en respuesta a dosis de yeso en las tres localidades.

Año	Dosis de yeso (kg ha ⁻¹)				
	0	1	2	3	4
	Estación Experimental Paraguaicito				
2024	31,2±2,6	34,7±2,8	34,8±1,8	36,2±1,8	39,8±1,9
2025*	18±1,6	18,4±0,9	16,7±1,7	17,5±1,8	17,3±1,1
Total**	72,4±5,1	77±4,6	75,3±4,4	77,5±2,3	81,2±4,4
Estación Experimental El Rosario					
2024	44,6±1,9	46,6±0,9	45,7±1,9	44,3±2,1	45,6±1,5
2025*	4,7±0,7	6,3±0,6	7,1±0,8	6,3±1,2	6,4±0,8
Total	74,5±3,6	80,9±2,7	78,2±2,8	76,6±3,6	78,3±2,1
Estación Experimental San Antonio					
2024	29,5±1,9	32,4±1,2	35,2±2	30±1,4	34,5±2,5
2025*	1,1±0,2	1±0,2	1,2±0,3	1,6±0,3	0,8±0,2
Total	55,9±4,4	58,1±4,6	69,7±4,1	55,4±3,8	57,8±4,2

* Producción obtenida durante el primer semestre del año.

Total** producciones acumuladas obtenidas entre los años 2022 al 2025.

Tabla 38. Valores promedio de la producción de café cereza durante los años 2023 y 2025 en cuatro localidades, en respuesta a los tratamientos.

Año	Proporción de mezcla de suelo:pulpa					
	1:0	3:1	4:1	6:1	9:1	19:1
	E.E. La Trinidad					
2024	30,2 a	33,4 a	34,1 a	36,0 a	34,5 a	34,8 a
Total*	34,1 a	37,6 a	39,4 a	40,8 a	39,2 a	39,2 a
E. E. Naranjal						
2024	29,3 a	31,1 a	28,7 a	30,5 a	31,2 a	28,4 a
Total	52,3 a	57,6 a	56,7 a	55,9 a	60,8 a	60,2 a
E. E. Paraguaicito						
2024	32,8 a	37,2 a	35,6 a	37,9 a	37,4 a	37,5 a
Total	43,8 a	48,7 a	49,2 a	51,1 a	50,2 a	51,1 a
E. E. San Antonio						
2024	2,1 b	3,8 ab	4,5 ab	7,0 a	5,2 ab	5,7 a
2025	0,6 b	2,0 ab	1,8 ab	1,4 ab	2,0 ab	2,5 a
Total	2,8 b	5,8 ab	6,4 ab	8,6 a	7,4 a	8,4 a

* Incluye las producciones obtenidas entre los años 2023 y 2025.

plantadas entre los surcos de café durante su crecimiento. Se evaluó la descomposición del AV y su aporte de nutrientes, adicionalmente, mediante un convenio con la universidad de Purdue, se estudió el microbioma endófito (hongos y bacterias) de la rizosfera del café al inicio de su fase reproductiva. A partir de los 18 meses, se retiró el sombrío y el café se fertilizó según el análisis de suelos, sin AV. La mayor magnitud de descomposición de AV ocurrida a los 60 días (Tabla 40), liberó nitrógeno y potasio en cantidades que pueden llegar a cubrir los requerimientos del café durante su establecimiento (Figura 76). En ninguna de las localidades y años de evaluación, hubo interacción dosis nitrógeno x AV, ni efecto de las dosis de nitrógeno. Respuesta que puede

asociarse con las cantidades del nutriente suministradas para cubrir los requerimientos de fósforo a través del DAP. El sombrío transitorio de ambas leguminosas, redujo significativamente la producción de café en el primer año, entre 23% y 49% (Figura 778), mientras que para el segundo año y el acumulado (2 años), la producción con AV fue igual a los tratamientos sin aplicación (Tabla 41). En la rizosfera del café que creció con guandul, se destacó abundancia de hongos descomponedores (ciclaje de nutrientes) y micorrizas arbusculares, mientras que en el café asociado con tefrosia, abundancia de hongos micorrizales. Para todos los sistemas de fertilización evaluados, predominaron las comunidades bacterianas involucradas en el ciclo del N (Figura 78).

Tabla 39. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento		% N según dosis recomendada	AV (biomasa fresca)
			g/planta/año
1	Sin N	0	3.000
2	50% N	50	
3	100% N	100	
4	Sin N y con tefrosia	0	
5	50% N + tefrosia	50	
6	100% N + tefrosia	100	
7	Sin N y con guandul	0	
8	50% N + guandul	50	
9	100% N + guandul	100	

Tabla 40. Parámetros de regresión estimados y su nivel de significancia en la dinámica de descomposición a través del tiempo guandul y tefrosia aplicados como abono verde.

Abono verde	Parámetro		*EE	Pr>F	R ²
guandul	alfa	75,50	3,6841	<0,0001	0,94
	beta	0,014	0,0016		
tefrosia	alfa	68,70	1,2987		
	beta	0,033	0,026		

*Error estándar

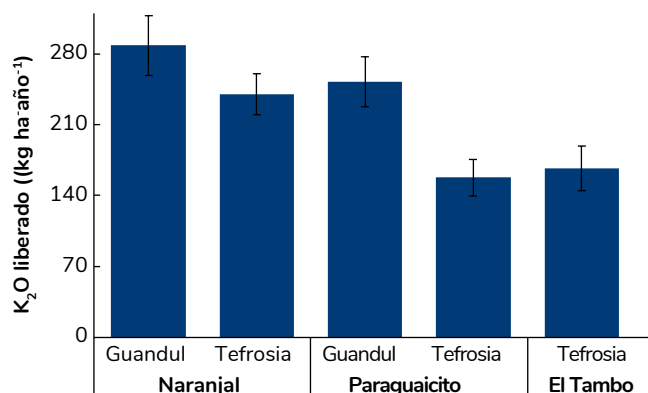
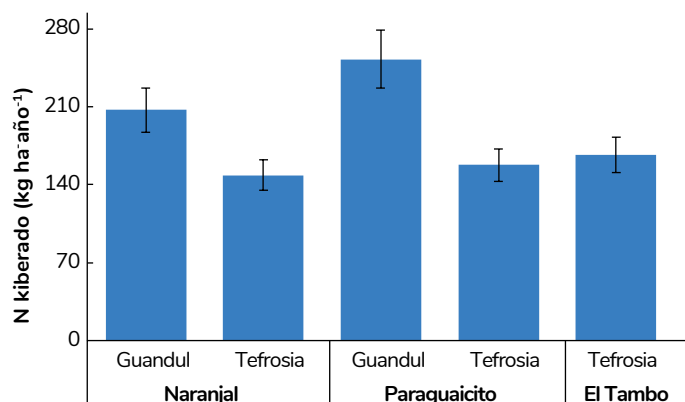


Figura 76. Aporte anual de N y K (K₂O) por las leguminosas objeto de estudio en función de la dosis de abono verde suministrada por planta de café. Barras indican error estándar.

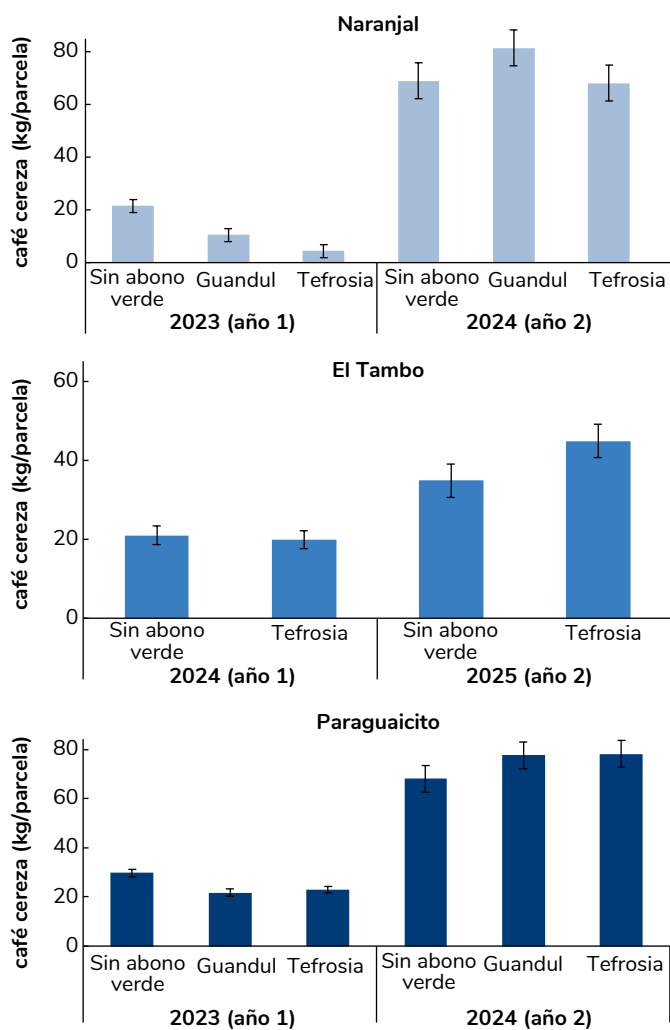


Figura 77. Producción anual de café cereza por efecto de los tratamientos en Naranjal, Paraguaicito y El Tambo.

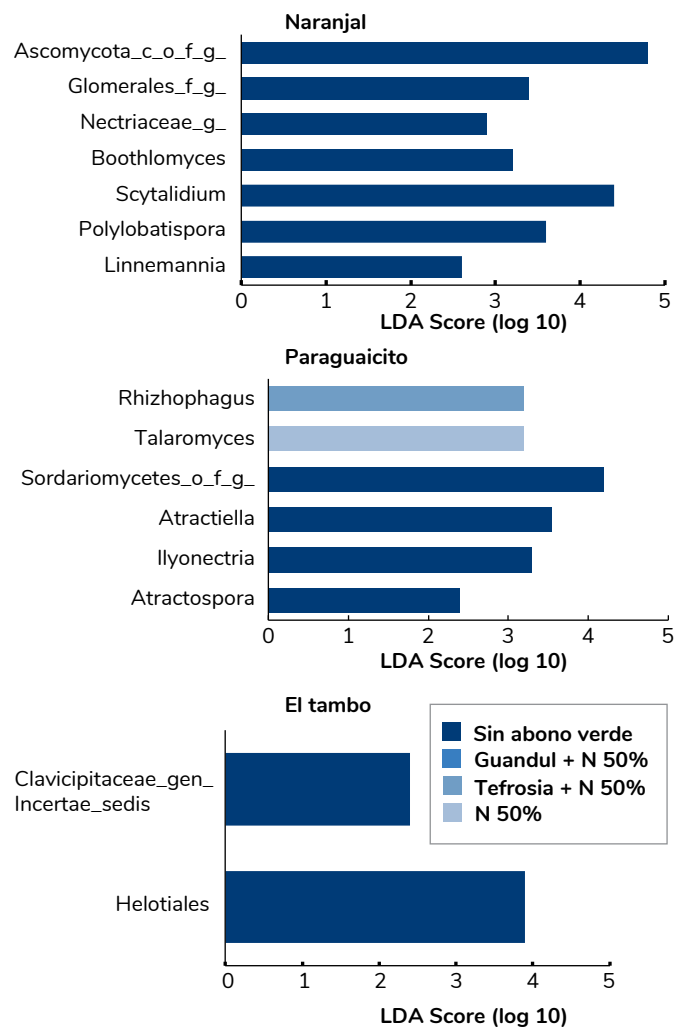


Figura 78. Abundancia relativa de taxones fúngicos en el café bajo los tratamientos evaluados en Naranjal, Paraguaicito y El Tambo.

Tabla 41. Producción acumulada (2 años) de café cereza por efecto de los tratamientos en Naranjal, Paraguaicito y El Tambo.

Localidad	Tratamiento	Producción acumulada (2 años)		Error estándar
		kg/parcela		
Naranjal	Sin abono verde	90,25	a	7,55
	guandul	91,67	a	3,55
	tefrosia	72,25	a	6,08
Paraguaicito	Sin abono verde	97,92	a	3,95
	guandul	99,39	a	3,70
	tefrosia	101,31	a	5,76
El Tambo	Sin abono verde	55,97	a	4,30
	tefrosia	64,77	a	5,63

Letras no comunes indican diferencia estadística entre los tratamientos para cada localidad, según prueba Tukey al 5%.

Disciplinas de apoyo a la **investigación**



Prácticas clave para la recolección de café de calidad

2. Procesa cada lote de café recolectado de manera independiente
3. Retire frutos y gramo de inferior calidad
4. Realice el mantenimiento, limpieza y calibración de los equipos del proceso
5. Monitoree la fermentación con Fermentómetro
6. Retire completamente el mucílago residual en buen lavado
7. Desagua cada granulado seco con humedad entre 10% y 12% utilizando el método Traylor

Traylor: Sigue estas prácticas clave para mejorar la calidad del café de su finca. [Ver más en su ExperienciaPA](#)



Divulgación y Transferencia



El Informe Anual de Divulgación y Transferencia–2025 de Cenicafé destaca un período de intensa actividad y transferencia de conocimiento técnico. El equipo de Divulgación, apoyado por investigadores y practicantes, atendió directamente a más de **7.000 personas, donde sobresalen el alto número de caficultores y extensionistas** que visitaron las instalaciones, quienes nombraron a Cenicafé como la **"NASA del Café de Colombia"**. Durante el 2025 tuvimos un 32% más de visitantes y un 25% más de actividades presenciales, con respecto al año anterior, con 185 actividades presenciales, y un tiempo invertido de 908 horas, equivalentes a 106 días laborales, aproximadamente.

La producción científica fue prolífica, con la publicación de **15 Avances Técnicos** y la participación en la **Revista Cenicafé** (Vol. 75 No. 2 de 2024 y Vol. 76 No. 1 de 2025) con 12 artículos científicos, además de cuatro libros, incluyendo el **Informe Anual de Actividades 2024** y el libro sobre la caracterización de la fertilidad de suelos de la zona cafetera de Colombia.

Además de las publicaciones escritas, la Disciplina de Divulgación mantuvo una comunicación constante a través de **13 videos** del Boletín Agrometeorológico, **19 "Minutos de Avances"**, 28 seminarios científicos, y la emisión de diez Boletines Virtuales "Tome Nota".

Durante el período octubre 2024 y septiembre 2025 Cenicafé tuvo más de **8.648.663** visualizaciones de sus publicaciones a través de las páginas web, redes sociales, correos electrónicos y entrega física de las publicaciones, con un crecimiento del 16% en las visualizaciones con respecto al año anterior.

Tecnología de Información y Comunicaciones



Durante 2025, el área de **Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC)** se enfocó en impulsar la **transformación digital** para apoyar directamente los objetivos de Cenicafé.

1. Modernización de Sistemas Clave

- **Portal Web:** Rediseñamos nuestro portal institucional (www.cenicafe.org) para mejorar la **divulgación científica** y facilitar la navegación.
- **Aplicaciones Móviles:** Migramos nuestras *apps* (manejo agronómico, indicadores de mano de obra y monitoreo poscosecha) a **React Native**. Esto mejoró su **rendimiento** y la funcionalidad para trabajar **sin conexión**.
- **Sistema SIGA:** Actualizamos el sistema con nuevas herramientas para la gestión de proyectos, químicos, presupuestos y trámites. También lanzamos una nueva aplicación para la gestión de colaboradores.

2. Fortalecimiento de la Infraestructura

- **Servidores y Seguridad:** Actualizamos el File Server a **Windows Server 2022**. Además, consolidamos la conexión con la FNC para una **autenticación unificada**, lo que da mayor seguridad y eficiencia.
- **SopORTE Operacional:** Mantuvimos una gestión sólida de todos los **servidores** (físicos, virtuales con VMware, y contenedores Docker), las **redes**, y los **respaldos** de información crítica con NetBackup.

3. Innovación en Geografía y Datos (SIG)

- El área de **Sistemas de Información Geográfica (SIG)** fue clave en el apoyo a la investigación, creando **mapas técnicos** y usando **ArcGIS Survey123** para la recolección eficiente de datos en el campo (floración, fenología, broca).

- Se crearon **tableros de control interactivos (dashboards)** para hacer seguimiento a la información en tiempo real.

4. Exploración en Inteligencia Artificial (IA)

- Dimos los primeros pasos en **Inteligencia Artificial** al desarrollar un **prototipo de agente** (usando LangGraph, Milvus y Gemini). Este agente puede **responder consultas técnicas** basándose en la ciencia de Cenicafé, y entrega respuestas con referencias y mapas mentales.

5. Apoyo y sostenibilidad

- Mantuvimos el **soporte continuo** a los usuarios y gestionamos el desecho de equipos obsoletos con criterios de **sostenibilidad**.
- Participamos activamente en iniciativas institucionales como la **centralización de servicios TIC** y el lanzamiento del nuevo **Centro de Experiencia Digital**.

Todas estas acciones aseguran una infraestructura tecnológica **segura, escalable** y que impulsa directamente la investigación cafetera.

Recursos humanos y **financieros**





Unidad Administrativa y Financiera

El principal ingreso de Cenicafé es la transferencia que le realiza la Federación de Cafeteros (FNC) para el desarrollo de los proyectos de Investigación y Experimentación Científica.

El presupuesto de Cenicafé en 2025 asciende a \$50.755 millones, que corresponden a \$29.484 millones de recursos transferidos por la FNC, \$1.578 millones por generación interna de aprovechamientos, \$687 millones transferidos por la Gerencia Técnica para el proyecto “Zonas de Transición” y el proyecto “Caracterización Agroclimática de las Zonas Cafeteras de Colombia”, \$6.000 millones relacionados con la entrega de semilla de variedades mejoradas de café a los Comités Departamentales de Cafeteros y \$7.000 millones por concepto de convenios de cofinanciación con entidades públicas y privadas, nacionales e internacionales. Adicionalmente \$6.006 millones destinados a satisfacer necesidades acumuladas de años anteriores, sin embargo, dicha asignación estuvo condicionada a la ejecución de los ingresos correspondientes, los cuales finalmente no se generaron, impidiendo su uso.

Los costos y auxilios de nómina fija son los que mayor participación tienen en el presupuesto de Cenicafé (Figura 80), con un 39% del total. El presupuesto aprobado para convenios de cofinanciación representa el 16% y solo puede ser ejecutado en las actividades de investigación acordadas con los aportantes.

El presupuesto de convenios de cofinanciación para el 2025 asciende a \$7.000 millones, de los cuales \$1.571 millones corresponden a 11 convenios que han estado vigentes durante el año y \$5.429 millones a proyectos que se encuentran en proceso de formulación y gestión (Tabla 42).



En cuanto al talento humano, al cierre del período, se contaba con 186 colaboradores, el 64% hombres y 36% mujeres. El 56% de los colaboradores cuenta con formación superior y de estos, el 69% tiene formación posgradual, de los cuales, 20 profesionales tienen PhD, 27 con maestría y 25 con especialización (Figura 81).

Cenicafé mantiene un firme compromiso con el desarrollo y la capacitación de su talento humano. Actualmente, nueve colaboradores están cursando estudios de doctorado, maestrías y especializaciones, lo que subraya la inversión en su crecimiento profesional.

Se han fortalecido las relaciones con la caja de compensación, lo que ha permitido a nuestros colaboradores acceder a estrategias de formación a la medida. En colaboración con destacadas instituciones académicas como la Universidad Autónoma, la Universidad de los Andes, la Universidad Javeriana y EAFIT, se desarrollaron cursos de vanguardia en áreas clave: Inteligencia Artificial (IA) Aplicada a la Investigación, Logística, Desarrollo de Aplicaciones y Sistemas Multiagente, e IA para Directivos; Análítica de Datos y Business Intelligence y Power BI.

Así mismo, 75 colaboradores obtuvieron la certificación en Técnicas de Preparación de Bebidas a Base de Café (Barismo) a través del SENA, y 80 colaboradores participaron en talleres especializados dirigidos por la Disciplina de Calidad.

En este período, se realizaron campañas de impacto, tales como:

- **Celebración de Navidad.** Concurso “enciende el espíritu navideño”. 11 Disciplinas y áreas del Centro se unieron a la celebración y con su creatividad y espíritu contagiaron a sus compañeros de la alegría de la navidad
- **Válida Ciclística.** En el mes de junio, alrededor de 20 colaboradores participaron de la válida en la ruta interna Granja- Planalto, en las categorías de Élite, Master y Recreativa.
- **Día de campo – Socialización SGI Estación Experimental Naranjal.** Alrededor de 100 colaboradores de la Empresa contratista de labores

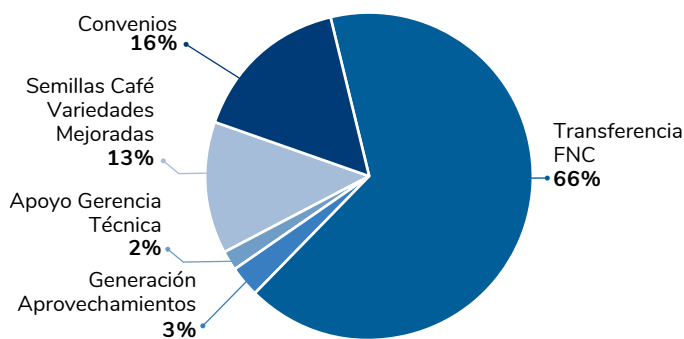


Figura 79. Composición del presupuesto total de Cenicafé 2025.

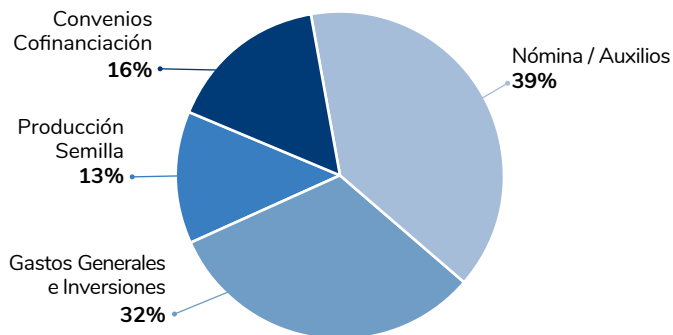


Figura 80. Presupuesto Cenicafé por concepto.

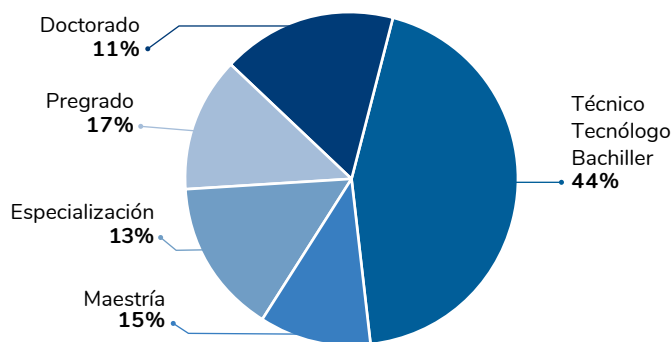


Figura 81. Formación personal nómina.

agrícolas, The People Company, participaron de una estrategia de socialización de los aspectos más relevantes del Sistema de Gestión Integral y su aporte en el desarrollo de actividades.

- **Actividades de promoción de salud y prevención de la enfermedad.** Se contó con espacios de promoción de la salud y bienestar, tales como: pilates, zumba, jornadas de vacunación, donación de sangre, detección temprana de cáncer, exámenes de laboratorio, masajes, tamiz de psicología, entre otros. Alrededor de 180 personas aprovecharon estas actividades.
- **Acompañamiento de la Caja de compensación:** A través de CONFA se desarrollaron actividades lúdico, recreativas y formativas.

- **Voluntariado Institucional ¡Construyendo Sonrisas, cambiando vidas! Institución educativa Rural La Violeta.** En representación de Cenicafé, 36 voluntarios aportaron con su trabajo al mantenimiento de la escuela y montaje de la huerta; adicionalmente y gracias a las donaciones de los trabajadores, 39 niños fueron beneficiarios de tenis colegiales, actividades recreativas y obsequios.
- **Campañas.** Campaña de la empatía, liderada por la Dirección del Centro y desarrollada en conjunto con las Disciplinas de Divulgación y Transferencia y Talento Humano, buscaba conectar con las emociones propias y la de los demás compañeros; golpe de calor – Infografía; promoción de las pausas activas; respeto por las personas–baños limpios; desplazamiento seguro a pie; seguridad vial; hidratación consciente; buenas posturas corporales y reporte de casi accidentes.

En lo referente a la Gestión de Bienes y Servicios, en este período se tramitaron 2.084 órdenes de compra, por valor de \$19 mil millones, correspondientes a negociaciones con 419 proveedores. En materia de gestión de contratos, durante el período se radicaron 54 procesos contractuales.

Se realizó la evaluación a 164 proveedores que en 2024 suministraron bienes o servicios de alto impacto para los procesos, obteniendo una calificación promedio de 4,87. El 96% de los proveedores evaluados está dentro del rango de confiables y altamente confiables.

Se gestionó la actualización de documentos legales de los proveedores y se realizó la gestión de consulta al área de Gestión del Riesgo en Oficina Central de 1.495 proveedores y sus representantes legales en las Listas Públicas de Control.

Se realizó la verificación de los activos, la actualización de los registros y la verificación del inventario. A septiembre 30, Cenicafé cuenta con 4.846 activos tangibles, adquiridos con recursos propios y de convenios, de los cuales se logró inventariar el 88%.

El área de mantenimiento gestionó el mantenimiento oportuno de los equipos, parque automotor, red climática e infraestructura (Tabla 43).

Se realizó el mantenimiento de los inmuebles, entre ellos:

- Adecuaciones de infraestructura en casa y bodegas de la Estación Experimental (EE) Jorge Villamil (Gigante, Huila).

- Adecuación de infraestructura para remodelación de beneficiadero en la EE El Rosario (Venecia, Antioquia).
- Adquisición de intercambiadores de calor y remodelación de sistema de secado en la EE La Trinidad en Líbano (Tolima).
- Adecuaciones eléctricas e iluminación en las estaciones LaTrinidad, ElRosario, Naranjal (Chinchiná, Caldas) y Paraguaicito (Buenavista, Quindío).
- Remodelación de oficinas y cielo raso en la EE Naranjal.
- Mantenimiento y reparación de puente vehicular en la EE Paraguaicito.

Tabla 42. Convenios Nacionales e Internacionales.

Entidades Nacionales	Convenios	Millones \$	% Total
Bayer S.A.	1	8	0,1%
Starbucks	1	53	0,8%
Gowan	1	47	0,7%
CIAT	1	339	4,8%
Incubadora Santander	1	30	0,4%
Total Convenios nacionales	5	477	6,8%
Entidades Internacionales	Convenios	Millones \$	% Total
USDA	1	131	1,9%
Syngenta	1	63	0,9%
Anglo American	1	2	0,03%
Lesprojekt – služby	1	344	4,9%
Effective Environmental Restoration (EER)	1	425	6,1%
World Coffee Research	1	129	1,8%
En Fomulación / Gestión		5.429	77,6%
Total Convenios internacionales	6	6.523	93,2%
Total	11	7.000	100,0%

En el marco del proceso efectuar la gestión metrológica, se realizaron 1.657 mantenimientos externos e internos, por un valor de \$722 millones a equipos e instrumentos de medición.

Para garantizar el adecuado funcionamiento de la Red Climática Cafetera, se realizaron 418 visitas técnicas en todo el país, para su mantenimiento y gestión metrológica.

Tabla 43. Cantidades y Costos Mantenimientos.

Objeto	Mantenimientos internos	Mantenimientos externos	Costo Mill. \$
Infraestructura	354	119	540,1
Equipos	772	885	722,4
Vehículos	25	270	234,3
Total	1.151	1.274	1.497

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.
Diana Marcela Buitrago R., Lic. Biología y Química, Administradora de Empresas, Esp.
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp., M.Sc

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología

Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Juan Camilo Mora G., Ing. Ambiental
Wílmur Antonio Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información
Jorge Alejandro Builes P., Tecnólogo en Sistemas
Luis Gonzaga Henao R.
Jeison Alexander Hoyos G., Técnico en Informática

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico, M.Sc.
Luis Carlos Imbachí Q., Estadístico
Beatriz Eugenia Mira R., Estadístico

Calidad

Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp., Ph.D.
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga, M.Sc.
Luz Fanny Echeverri G., Química Industrial

Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción Agropecuaria Ecológica
Wilson Vargas L.
Víctor Manuel Castañeda G.
Angy Paola Pulgarín E., Pasante

Economía Agrícola

Hugo Mauricio Salazar E., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M. Sc
Diego Fernando Arango C. Agrónomo

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Claudia Patricia Martínez D., Bacterióloga
Luis Eduardo Escobar S., Agrónomo
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.

Fáber de Los Ríos P.
 José Robín García C.
 Gloria Patricia Naranjo E.
 Ramón Antonio Montoya C.
 Juan Pablo Arboleda V., Pasante
 Sergio Rodríguez A., Pasante
 Nicolás González S., Pasante

Fisiología Vegetal

Tatiana María Saldaña V., Ing. Agrónomo, Ph.D.
 Aristóteles Ortiz, Químico, M.Sc.
 Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
 Claudia Patricia Valencia V., Técnico en Producción de Café
 Jhon James Ladino Q.

Fitopatología

Marco Aurelio Cristancho A., Microbiología, Ph.D.
 Rosa Lilia Ferrucho, Ing. Agrónoma, Ph.D.
 Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Jesús David Ortiz M., Ing Agrónomo
 José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción Agropecuaria
 Yoni Alejandro González A. Técnico Producción de Cafés Especiales
 Jerson Steven Villa A., Técnico en Agroindustria Alimentaria
 Nicolás Ocampo M., Pasante
 Carlos Andrés Velásquez L., Aprendiz
 Dayani Jiménez C., Aprendiz

Fitotecnia

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc, Ph.D.
 Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
 Juliana Vargas L., Pasante
 Alexander Jaramillo J.

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.
 Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, Ph.D.
 Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.
 Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Julio Quiroga C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
 Carlos Augusto Ramírez C., Administrador de Empresas Agropecuarias
 Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
 Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
 Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
 Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
 Juan Pablo Montoya T., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias
 Steven Giraldo R., Tecnólogo en Gestión Administrativa

Sandra Patricia Velarde M., Tecnólogo en Procesamiento de Alimentos
 Camila Sánchez V., Tecnólogo en Gestión Administrativa
 Diana Marcela Giraldo V.
 Cristian Giovanni Samper O., Pasante

Poscosecha

Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, M.Sc., Ph.D.
 Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.
 Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc., Ph.D.
 Eduardo Duque D., Ing. Mecánico, Ph.D.
 Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.
 Cristian Camilo Arboleda O., Biólogo
 Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
 Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
 Valentina Cruz O., Agrónomo
 Laura Vanessa Cano R., Ing. de Alimentos
 Jorge Wilmar Zuluaga A. Técnico profesional en Mantenimiento Industrial
 Juan Sebastián Rivera R.
 Juan Carlos Ortiz F.
 Cristian David Rendón L.
 José Gilmar Carmona V.
 Samuel Osbaldo López G.
 Samuel Antonio Castañeda
 Yennifer Ospina P., Aprendiz
 Alison Manuela Loaiza R., Aprendiz

Suelos

Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
 Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
 Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
 Diana Lisseth Manrique L., Química.
 Eliana Gómez A., Tecnóloga Química
 Juan Manuel Rendón R., Tecnólogo Químico
 Camila Quintero O., Aprendiz
 Gerardo Antonio Giraldo M., Pasante
 Jaroliver Cardona G.

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
 José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
 Alejandra Marcela Garcés G., Tecnóloga en Administración Agropecuaria
 Luisa Fernanda García C., Tecnóloga en Gestión Administrativa

Estación Experimental Naranja

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc.
 Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
 Tito Alberto Ramírez S.
 Dayana Alejandra Ríos O., Aprendiz

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental El Rosario

León Darío Caicedo R., Agrónomo, Esp.

Estación Experimental La Catalina

Héctor Flabio Álvarez A., Ing. Agrónomo

Estación Experimental La Trinidad

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental Paraguaicito

Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio

Carlos Roberto Ariza O., Ing. Agrónomo, Esp.

Estación Experimental Jorge Villamil

Victor Ricardo Montaña E., Ing. Agrónomo, Esp.

APOYO A LA INVESTIGACIÓN**Divulgación y Transferencia**

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, Esp., M.Sc.
 Carmenza Bacca R., Diseñador Visual
 Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
 Luz Adriana Álvarez M., Diseñador Visual
 Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
 Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
 Valentina Marroquín A., Pasante
 Estefanía Gil M., Pasante
 María Del Mar Alvarado C., Pasante

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
 Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.
 Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, M.Sc.
 Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.
 Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
 Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
 Miguel Ángel Salamanca Q., Ingeniero de sistemas, Esp.

Paula Andrea García M., Ingeniera Ambiental, Esp.
 Cristian David Bravo L., Administrador de Sistemas Informáticos.
 María Fernanda Castaño L., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
 Luz Adriana Jiménez Q., Técnico profesional en Contabilidad y Finanzas
 Diana Marcela Palacio R., Abogada, Esp.
 Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable

Jorge Eduardo Dávila M., Contador Público, Esp.
 Jesús Danilo González O., Contador, Esp.
 Daniela López O., Contadora, Esp.

Gestión de Bienes y Servicios - Compras y Contratación

Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.
 Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
 Lina María Giraldo, Administrador Financiero
 Lina María Buitrago A., Administrador de Empresas
 Santiago Benjumea V. Ing. Industrial
 Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
 Brahian Steven Narváz G., Tecnólogo en Contabilidad y Finanzas
 Angie Paola Zapata C., Técnico en Gestión Administrativa

Gestión de Bienes y Servicios - Mantenimiento

Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
 María Alejandra López R., Ing. Mecatrónica, Esp.
 Jonatan Gómez S., Ing. Electrónico
 José Gildardo Aguirre O., Ing. Industrial
 Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
 Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
 Óscar Alejandro Buitrago C., Tecnólogo en Electricidad Industrial
 Jorge Antonio Arias A., Técnico en Producción de Café
 Albert Johane Agudelo L., Tecnólogo en Electrónica - Técnico en Instalaciones de Redes Internas
 Luis Fernando Pérez L., Técnico en Plantas Industriales
 José Alexander Marín A., Técnico en Admin. de la Producción de Café
 Gustavo Andrés Araujo G., Tecnólogo en Mantenimiento Electrónico e Instrumental Industrial
 Julián Alexander Ramírez L., Técnico en Instalaciones eléctricas internas
 Freddy Alexander Sánchez O.
 Fredy Hernán Osorio C.
 Jhon Fredy Rojo G.
 Ferney Cifuentes R.
 Juan Diego Pérez V., Aprendiz

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, Esp., M.Sc.
 Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional, M.Sc.

Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.
Laura Tatiana Carmona D., Aprendiz Universitario

Planeación Financiera y Presupuesto

Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas, Esp.
Leydi Tatiana Rincón R., Administración de Empresas, Esp.
Carolina Herrera A., Administración de Empresas, Esp

* Personal adscrito a la nómina variable del Comité de Huila, quienes desarrollan actividades de investigación y apoyo en los Proyectos de Regalías bajo el direccionamiento de Cenicafé.



Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café



www.cenicafe.org