

## 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 CO<sub>2</sub>, 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 m<sup>2</sup>: 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.

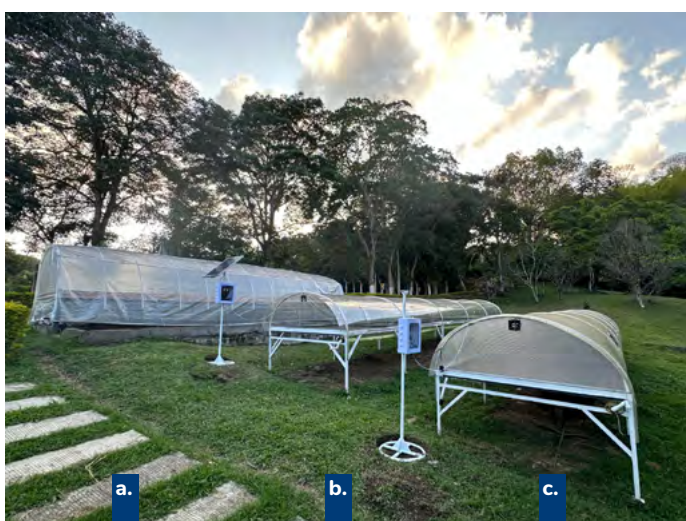
café como biocombustible en el secado y con la captación de agua lluvia tratada mediante un filtro verde consolidó un modelo de gestión circular de recursos, en el que cada subproducto adquiere un valor dentro del ciclo productivo. El análisis ambiental evidenció una

### 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.

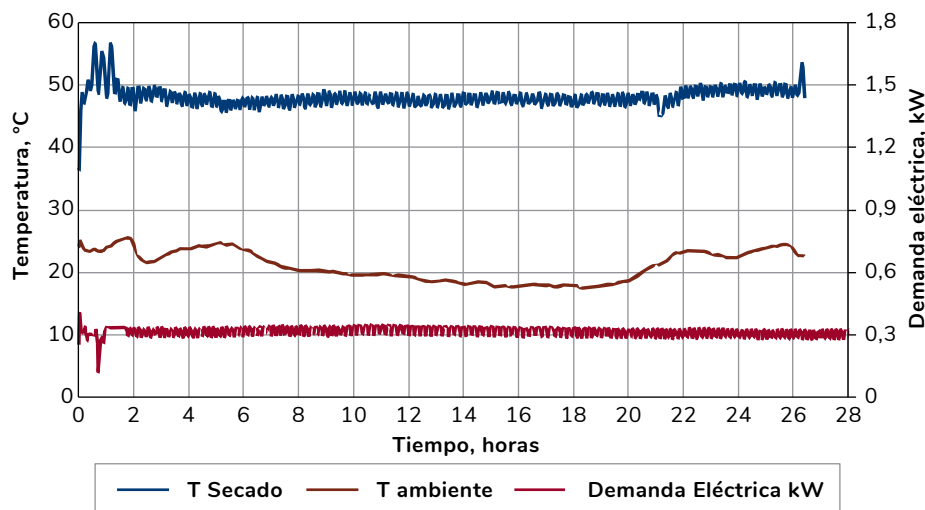
En conclusión, el uso del controlador Q&T permite operar los secadores mecánicos de café con cargas parciales de manera eficiente, reduciendo la demanda energética, evitando mezclas de cafés de distintos días y garantizando mayor uniformidad del proceso. Su capacidad de operar con energía bifásica de 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**

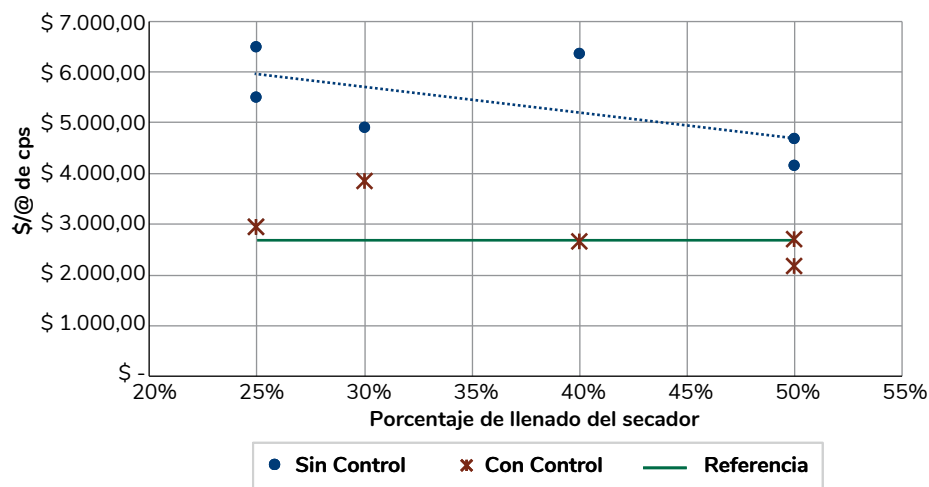
Este proyecto tiene el objetivo de suministrar un dispositivo Gravimet SM diseñado para la fabricación industrial, realizado bajo los criterios de evaluación que faciliten la determinación de la humedad de manera objetiva, fácil y económica. El método GravimetSM2 se basa en el principio de conservación 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<sup>-1</sup>, 0,342 h<sup>-1</sup> y 0,553 h<sup>-1</sup>, 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 10<sup>6</sup> 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 2<sup>3</sup>, 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%



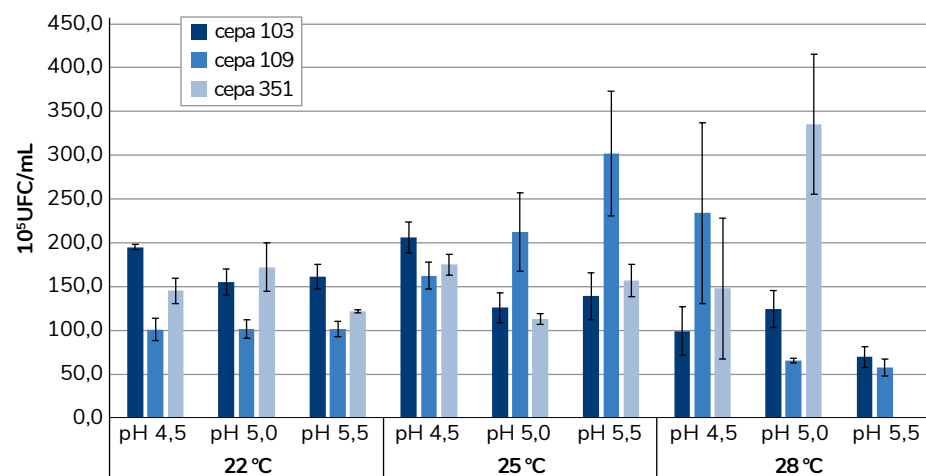
**Figura 70.** Implemento para el monitoreo de la humedad del café durante el secado mecánico Gravimet SM2.

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

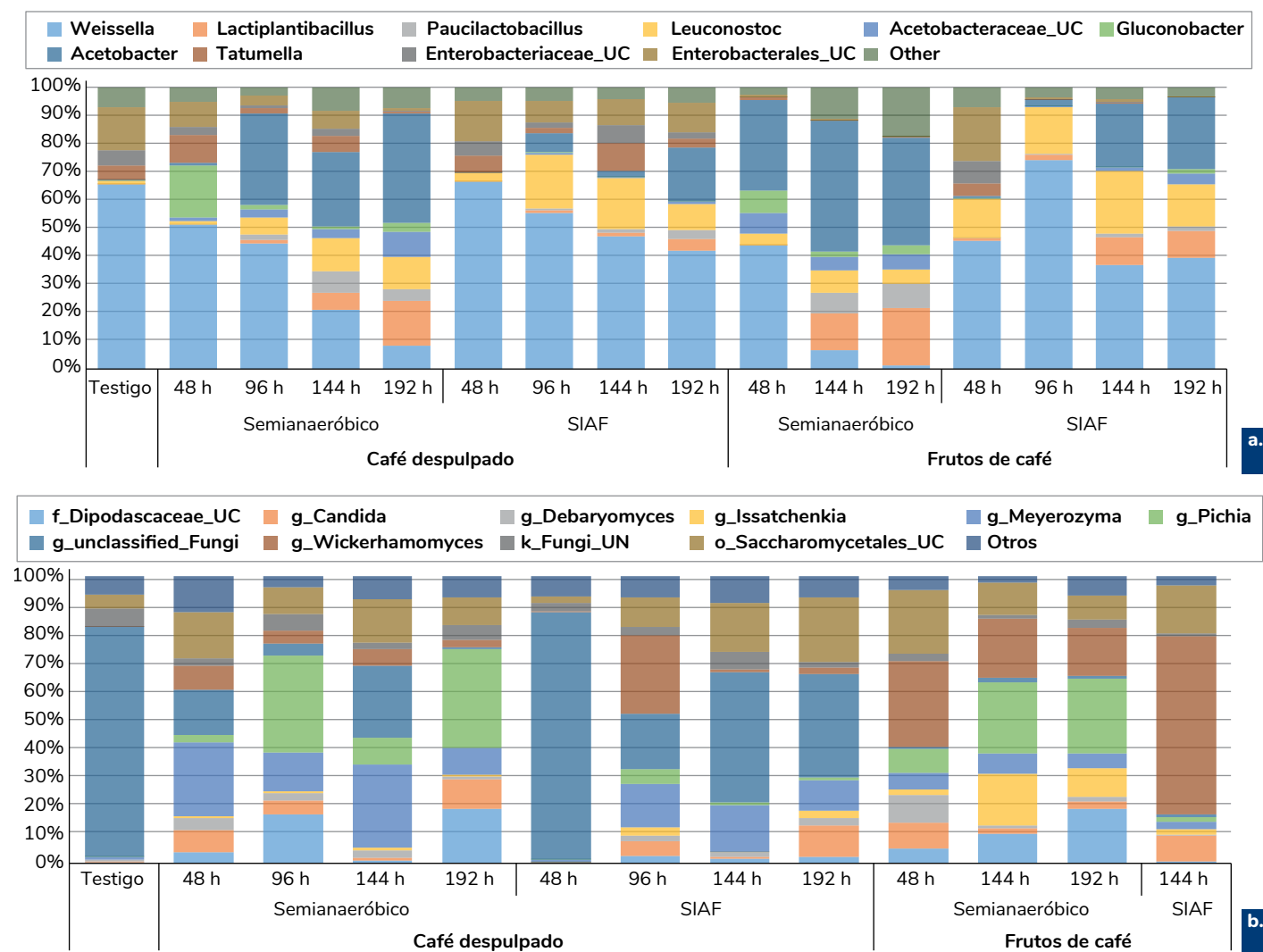
Continúa...

...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  $0,024 \text{ L kg}^{-1}$  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  $5,8 \text{ L kg}^{-1}$  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<sup>-1</sup> 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.