

ISSN-0120-0275
ISSN-2711-3477 (En línea)
DOI-10.38141/10778

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Volumen 75 Número 1

Enero - Junio 2024



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

COMITÉ NACIONAL

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Ricardo Bonilla González

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Jhenifer Mojica Flórez

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Germán Umaña Mendoza

Director del Departamento Nacional de Planeación

Jorge Iván González

Asesor 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

Uso del material de esta revista:

Aquellas personas que deseen usar en otras publicaciones, ilustraciones o datos publicados en la Revista Cenicafé, deben obtener el permiso del Centro Nacional de Investigaciones de Café y del autor del artículo y reconocer por escrito los créditos a la Revista Cenicafé como fuente original del material.

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.

La Revista Cenicafé, órgano divulgativo del Programa de Investigación Científica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Fondo Nacional del Café se publica semestralmente.

DOI - <https://doi.org/10.38141/rev.cenicafe75-1>

Editada en junio de 2024

Tel: 606 + 8500707 - A.A.: 2427 Manizales

E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com

www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 75

ENERO - JUNIO 2024

No. 1

CONTENIDO

ANÁLISIS DESCRIPTIVO UNIVARIADO DEL EMPLEO DE CABLE AÉREO PARA TRANSPORTE DE CAFÉ A NIVEL DE FINCA. Juan Carlos Gómez Soto	7
DESCRIPTIVE UNIVARIATE ANALYSIS OF THE USE OF AERIAL CABLE FOR COFFEE TRANSPORT AT THE FARM LEVEL	7
COMPORTAMIENTO POBLACIONAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA BROCA DURANTE LA RETENCIÓN DE PASES DE COSECHA. Luis Miguel Constantino Chuaire; Pablo Benavides Machado; Esther Cecilia Montoya Restrepo; Héctor Flavio Álvarez Agudelo; Jhon Félix Trejos Pinzón; Juan Rodrigo Sanz Uribe	24
POPULATION BEHAVIOR AND CONTROL STRATEGIES FOR THE COFFEE BERRY BORER DURING HARVEST PASS RETENTION	24
DISTRIBUCIÓN Y TENDENCIAS DE LAS LLUVIAS HORARIAS EN LA REGIÓN CAFETERA DEL NORESTE DE SUR AMÉRICA. Carolina Ramírez Carabalí; Ninibeth Gibelli Sarmiento Herrera; Juan Carlos García López	39
DISTRIBUTION AND TRENDS OF HOURLY RAINFALL IN THE COFFEE-GROWING REGION OF NORTHEAST SOUTH AMERICA	39
EFFECTO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CAFÉ EN LA ACTIVIDAD DE AGUA. Valentina Osorio Pérez; Jenny Pabón Usaquén; Claudia Rocío Gómez	68
EFFECT OF COFFEE MOISTURE CONTENT ON WATER ACTIVITY	68
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ INTERCALADOS CON CAFÉ. Santiago Jaramillo Cardona; Rubén Darío Medina Rivera; Alexander Jaramillo Jiménez	84
EVALUATION OF THE EFFECT OF PLANTING DENSITY OF MAIZE HYBRIDS INTERCROPPED WITH COFFEE	84
EVALUACIÓN DE EQUIPOS Y MÉTODOS DE APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN EL CULTIVO DEL CAFÉ. Luis Fernando Salazar Gutiérrez; Myriam Cañón Hernández; Daniel Antonio Franco Chaurra; Jhon Félix Trejos Pinzón	96
EVALUATION OF EQUIPMENT AND METHODS FOR HERBICIDE APPLICATION IN COFFEE CULTIVATION	96

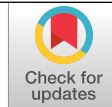
COMITÉ EDITORIAL

Carmenza Esther Góngora B.	Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
Aída Esther Peñuela M.	Ph.D. Ing. Alimentos. Poscosecha, Cenicafé
Diana María Molina V.	Ph.D. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Luis Fernando Salazar G.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

ANÁLISIS DESCRIPTIVO UNIVARIADO DEL EMPLEO DE CABLE AÉREO PARA TRANSPORTE DE CAFÉ A NIVEL DE FINCA

Juan Carlos Gómez Soto *

Gómez-Soto, J. (2024). Análisis descriptivo univariado del empleo de cable aéreo para transporte de café a nivel de finca. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75101. <https://doi.org/10.38141/10778/75101>



Entre los métodos de transporte de frutos de café en fincas que complementan o sustituyen al operario recolector se cuenta con cables aéreos, los cuales son dispositivos con distintos métodos de tracción, fuentes de energía, potencia motorizada, sistema de frenado y diseño de la plataforma de carga y movilización; siendo más comunes los de tipo malacate y de giro continuo sobre poleas. Se realizó un estudio descriptivo en siete departamentos con fincas que utilizan esta tecnología, por medio de análisis univariado. Los resultados indican que existe una diversidad amplia en cuanto a características técnicas, económicas y sociales, el rango intercuartílico de área en café va desde las 2,6 a las 8,9 hectáreas y movilizan 39,8 t (C.V: 130%) de frutos de café al año en promedio. Para las condiciones, la instalación de cable aéreo significó un cambio de tiempo de transporte de frutos por jornada de 57,6 min (D.E. 17,5) a 15,0 min (D.E. 4,9); el monto promedio de la inversión (año 2021) ascendió a \$15.910.000 COP, \$27.352.000 COP y \$38.285.000 COP en fincas pequeñas, medianas y grandes, respectivamente. En cuanto a los factores que determinaron la instalación del sistema, los caficultores manifestaron la reducción de costos y aumento de rendimiento de recolección, el enganche, retención y mejor empleabilidad de recolectores y el transporte de otros productos agrícolas, equipos e insumos, mayores facilidades administrativas en época de cosecha y valorización del predio, y como limitantes el costo de inversión inicial y el mantenimiento.

Palabras clave: Análisis económico, maquinaria agrícola, recolección, café, Cenicafé, Colombia.

DESCRIPTIVE UNIVARIATE ANALYSIS OF THE USE OF AERIAL CABLE FOR COFFEE TRANSPORT AT THE FARM LEVEL

On-farm coffee cherry transport methods that complement or replace the physical labor of pickers include aerial cables. These are devices with various traction methods, power sources, motorized power, braking systems, and designs for loading and mobilization platforms, with winch and continuous rotation over pulleys being the most common types. A descriptive study was conducted in seven departments with farms that use this technology, through univariate analysis. The results indicate that there is a wide diversity in technical, economic, and social characteristics. The interquartile range of coffee growing area spans from 2.6 to 8.9 hectares, and an average of 39.8 tons (C.V: 130%) of coffee cherries are transported per year. Under the observed conditions, the installation of an aerial cable resulted in a reduction in fruit transport time per workday from 57.6 min (S.D. 17.5) to 15.0 min (S.D. 4.9). The average investment amount (2021) was \$15,910,000 COP, \$27,352,000 COP and \$38,285,000 COP in small, medium, and large farms respectively. Regarding the factors that determined the installation of the system, coffee growers cited cost reduction, increased harvesting efficiency, improved recruitment and retention of pickers, the transportation of other agricultural products, equipment, and supplies, administrative ease during harvest seasons, and property value appreciation. However, initial investment costs and maintenance were identified as limitations.

Keywords: Economic analysis, agricultural machinery, harvesting, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Economía Agrícola, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-9270-0538>



El transporte de frutos de café es una actividad o subproceso de la recolección o cosecha cuyo costo es asumido por el caficultor. Este costo se convierte de manera indirecta por medio de la incorporación de sobrecosto por kilogramo recolectado al destajo dada la dificultad del transporte o de forma directa cuando se paga por jornal y asciende en proporción directa al tiempo demandado, el cual se extiende en lotes de topografía escarpada, pendiente empinada o ubicación lejana al punto de recibo (Salazar et al., 2016).

En relación al tiempo dedicado al transporte de frutos de café en la cosecha, las cifras son condicionadas a las particularidades de cada lote y la ubicación del punto de recibo, entre otros; sin embargo, se parte del hecho de que si una persona sobre un camino peatonal cubre poco más de 80 metros por minuto (Barreira et al., 2010), dicha cifra es mayor en terrenos agrícolas al ser ralentizada por el grado de pendiente (Salazar et al., 2016) y con un mayor riesgo por caídas a nivel y lumbalgias cuando el desplazamiento se efectúa con carga en terrenos resbaladizos por lluvias, caso frecuente en épocas de cosecha en la geografía nacional, donde más del 55% de los cultivos se ubican en pendientes mayores del 70% (Martínez et al., 2005).

La jornada laboral en época de cosecha se extiende hasta las 5:00 pm o 6:00 pm, no obstante, se limita cuando el trabajador emplea tiempos sustanciales en el traslado y pesaje del café, lo cual conlleva a que el recolector termine la recolección antes de lo usual y proceda a trasladar lo recolectado, con lo cual se reduce el rendimiento operativo por la menor cantidad de horas efectivas de recolección (Salazar et al., 2016).

De forma adicional, cuando el recolector traslada cargas pesadas de café se incumple con los requisitos de la Organización Internacional

del Trabajo y la normatividad colombiana para el transporte seguro, dado que el peso máximo recomendado en trabajos habituales de manipulación de cargas para el género masculino es de 25,0 kg y en trabajos esporádicos el peso permitido puede llegar hasta los 40,0 kg (ARL Sura, 2018); en concordancia con el estatuto de Seguridad Industrial (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979) que establece la necesidad de dotar de mecanismos de asistencia para la manipulación de cargas.

En el sector cafetero el panorama con relación a estos límites de carga, si se tiene en cuenta que un trabajador estándar recolecta en promedio entre 80 y 110 kg de café frutos de café al día (Duque & Dussan, 2004; Federación Nacional de Cafeteros, 2017), y realiza entre dos y cuatro viajes con carga por jornada, únicamente en el 5,9% de un total de 187 casos analizados por Vélez et al. (1999), trasladaron cargas inferiores o iguales a 25,0 kg y en el 61% de los casos los recolectores manipularon cargas entre 25,0 kg y 50,0 kg.

Por su parte, las recolectoras no deben trasladar pesos que excedan los 20,0 kg (ARL Sura, 2018), y para esta población femenina, que representa el 14,2% de la oferta de mano de obra en cosecha (Federación Nacional de Cafeteros, 2017), este entorno limita en la práctica la empleabilidad de recolectoras por la dificultad del traslado del café cosechado.

Desde el punto de vista de riesgos laborales, el 97% de los recolectores no cuenta con protección, lo cual determina que ante accidentes laborales no hay cubrimiento de incapacidades médicas ni compensación por pérdida de ingresos, de modo que “el empleador o contratante es quien termina asumiendo los mayores costos al no existir un mecanismo sistemático de transferencia del

riesgo” (Federación Nacional de Cafeteros, 2017), de allí que evitar el traslado de cargas excesivas en dichas condiciones contribuye a la seguridad laboral del trabajador y a la económica del productor.

Desde un aspecto socio económico, buena parte del café en Colombia es recolectado por los mismos caficultores, es así como en las fincas con menos de una hectárea, el aporte de la mano de obra familiar en la cosecha es del 75% y en fincas con menos de dos hectáreas representa el 46% (García et al., 2016, citado por Federación Nacional de Cafeteros, 2017); además estos últimos autores establecieron que en las fincas de mayor tamaño, el 22% de los recolectores son pequeños productores que “venden su mano de obra como mecanismo de ingresos complementarios”; esto implica que en buena parte de la caficultura colombiana el recolector y el caficultor son la misma población.

Con base en las consideraciones anteriormente expuestas, Cenicafé ha trabajado en equipos y dispositivos para facilitar la labor de traslado de carga en los cafetales, como el malacate, el cual consta de un vagón que se desplaza en la plantación por medio de un cable (Sanz et al., 2011), cables aéreos por gravedad en bancos de prueba (Parra et al., 1989) (Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología [Colciencias] et al., 2016) o motorizados (Oliveros & Sanz, 2011, Patiño et al., 1994), incluidos en compendio en el Manual del Cafetero Colombiano (Federación Nacional de Cafeteros, 2013), de modo que la mecanización de labores durante la cosecha (recolección, traslado) sea una estrategia ejecutada por productores de café en las laderas colombianas.

En Colombia hay equipos funcionales de cable aéreo en fincas cafeteras desde 1986 (Gómez, 2020)¹. El cable aéreo, de acuerdo al Decreto No.1072 de 2004: “*Por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte por Cable de Pasajeros y Carga*”, se define como: “un sistema compuesto por cables aéreos, en los cuales los vehículos están soportados por uno o más cables, dependiendo del tipo de mecanismo a utilizar, los vehículos son propulsados por un cable tractor o simultáneamente por un sistema de cable sustentador y cable tractor”.

El cable aéreo, llamado regionalmente con diversos nombres como “garrucha” o “tarabita”, es uno de los dispositivos empleados en la labor de acarreo de frutos de café, insumos (fertilizantes, agua para aspersiones), pulpa de café y otros productos agrícolas (plátano, aguacate, leña), aperos, equipos e incluso alimentos y bebidas para los trabajadores en predios agrícolas cafeteros. En general, estos dispositivos son de dos tipos: malacate (*winch*) o el más común, que corresponde al de circulación continua o bicable, en el cual se destaca la presencia de un cable soporte de mayor calibre y resistencia y un segundo tipo, de arrastre, que gira sobre poleas en los extremos del sistema y es el encargado de transmitir la fuerza otorgada por el sistema motriz a la plataforma de carga. El sistema motorizado generalmente recurre a potencia por energía eléctrica y en menor medida a motores a gasolina y diésel, ocasionalmente se han observado de energía solar (Gigante, Huila); mientras que el sistema de frenado es electro-asistido con motorreductores, sin embargo, los de mayor uso son los mecánicos por su menor costo inicial, con frenos de tambor o disco, pero de menor prestación de seguridad operacional (Gómez, 2020)¹.

¹ Gómez S., J. Transporte de frutos de café por cable aéreo. Cenicafé, Disciplina de Economía, 2020, 120 p. (sin publicar).

Dado que no hay análisis completos del subproceso de transporte interno con estos dispositivos a nivel de finca cafetera, tanto desde lo técnico como lo social y su interacción sobre lo económico, esta investigación tuvo como objetivo realizar un ejercicio descriptivo a nivel de finca y contribuir al conocimiento de los beneficios y limitaciones que se presentan tanto para productores como para recolectores al transportar café por estos mecanismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se desarrolló en los departamentos de Antioquia, Caldas, Huila, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca, en los cuales se concentra la mayor cantidad de fincas con la tecnología de cables aéreos entre los departamentos cafeteros de Colombia, de acuerdo a la información suministrada por el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros.

Marco muestral y tamaño de la muestra. Se seleccionaron las fincas a visitar que constituían una muestra representativa de la población finita de predios con la tecnología de cables aéreos (Snedecor & Cochran, 1996), con probabilidad de ocurrencia de 0,5 (p y q) y un error del 10%, propio de este tipo de estudios donde se espera redundancia en la información a criterio experto; sin embargo, dado el interés de visitar al menos una finca con la tecnología en algunos departamentos con empleo del sistema de cable, se realizaron visitas por conveniencia en estos departamentos, por lo cual los resultados del estudio corresponden exclusivamente al marco del estudio y el cotejo a otros escenarios de empleo del cable debe ser considerado como una fuente secundaria de la información y no de carácter extrapolable.

Unidad de estudio. Estuvo conformada por la finca cafetera, donde se entrevistó al tomador de decisiones del predio y a un

Tabla 1. Número de fincas con cable aéreo (población) y muestra por departamento.

Departamento	Población inicial	Muestra
Antioquia	14	14
Caldas	150	18
Huila	8	8
Risaralda	94	21
Santander	5	5
Tolima	2	2
Valle del Cauca	7	4
Total	280	72

recolector que hubiese empleado el sistema de cable aéreo para transportar frutos de café cosechado, lo cual permitió reunir la información técnica de las fincas cafeteras, así como información socioeconómica de los productores y recolectores.

Recolección de la información. La información se tomó desde el año 2019 hasta el año 2021, por el personal del Servicio de Extensión de los Comités de Cafeteros incluidos en este estudio, previa capacitación a los encuestadores, y por parte del equipo líder de la investigación.

Variables de la investigación. Con los resultados de un cuestionario estructurado previamente testeado y ajustado, se construyó una base de datos con las variables que consideraron los diversos aspectos que permitieron describir factores técnicos, sociales y económicos concernientes al objetivo del estudio.

Descripción del caficultor. Se determinó la edad, tipología de productor y se indagó sobre los motivos o factores por los cuales adoptó la tecnología de cable aéreo, las eventuales limitaciones o desventajas por la instalación y operación del sistema.

Descripción del recolector. Se definió la edad, la experiencia en recolección y si era caficultor, las cantidades de café transportado por cada viaje, la influencia de la presencia del cable en la decisión de recolectar café en el predio.

Descripción finca. Para este estudio, el tamaño total del área en café la finca se clasificó en pequeña propiedad (menos de 5 ha), mediana (5 a 10 ha) y grande (mayor de 10 ha), la productividad y el grado de especialización del predio en producción cafetera, siendo especializada aquella con más del 80% del terreno en café.

Descripción tecnológica. Sobre este factor versó la mayoría del estudio, lo cual permitió describir las longitudes de cable empleadas, la potencia de motor, el área cafetera con cobertura del cable, la proporción de uso del cable en acarreo de frutos de café, los kilogramos de frutos de café movilizados, la capacidad de la plataforma en kilogramos de frutos de café y el número de puntos de cargue en el trayecto del cable; se adoptó una clasificación intraresultados de la tecnología en tres rangos: datos hasta el percentil 25, entre el rango intercuartílico y los posteriores al percentil 75 de la característica observada.

Descripción de costos y tiempos. Se determinó el monto de la inversión, los costos y gastos de mantenimiento y reparaciones, y con ello una función de costos logarítmica que puede ser utilizada a futuro para maximizaciones económicas y el tiempo empleado antes de la instalación del cable en el transporte de frutos de café al punto de acopio y el tiempo actual.

Descripción general en cuanto a seguridad y diseño. En cada finca se determinaron las condiciones de mantenimiento y operatividad del cable.

Con los anteriores aspectos descriptivos se plantearon conclusiones del estado de arte del empleo del cable en Colombia y en los aspectos que son susceptibles de mejora desde el diseño mismo del sistema, para aquellos interesados en este medio de acarreo y en la operación del mismo para aquellos que ya lo han instalado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del caficultor

Sobre los motivos principales para instalar el cable aéreo en sus predios, los más frecuentes mencionados fueron: reducción del costo y

tiempo de transporte de frutos de café, el enganche y retención de recolectores, y en un tercer lugar, varios motivos entre los que se destacan aumento en la productividad de la mano de obra, seguridad y salud en el trabajo, valorización del predio, posibilidad de ampliación del área en café a lotes retirados o escarpados, optimización de la administración de cosecha, traslado de productos (plátano, leña), insumos (fertilizantes, agua para aspersión, pulpa), equipos y herramientas desde y hacia los lotes, superar obstáculos naturales como ríos o áreas protegidas y evitar la pérdida de terreno cultivable por construcción de carreteras. Es de anotar que, los beneficios se agruparon en un motivo principal para efectos ilustrativos, pero existió un principio de redundancia en las motivaciones no excluyentes que los caficultores expresaron. En cuanto a los limitantes se mencionaron el monto de la inversión, los gastos de mantenimiento, y otras varias relacionadas especialmente con la capacitación de operarios y cortes de

energía que inmovilizan el sistema cuando el motor empleado es eléctrico, que de manera cuantificada se presentan en la Tabla 2.

Para fincas donde se emplea tracción animal es necesario tener en cuenta lo expuesto por Cubillos et al. (2023), pues la ley 1774 de 2006 restringe su uso a corto plazo y para estas fincas podría ser beneficioso la implementación de cables aéreos. Como ventaja adicional Colciencias et al. (2016), mencionan que los cables aéreos incrementan “la resiliencia de las comunidades frente a los efectos de fuertes precipitaciones y la erosión”.

En cuanto a la edad de los caficultores que adoptan esta tecnología el promedio fue de 52,9 años y 55 años como mediana. Frente a rangos etarios de los caficultores propietarios se puede señalar que, en los pequeños, medianos y grandes productores de café se presenta una población de 30,0%, 25,0% y 30,8% respectivamente, mayor de 62

Tabla 2. Proporción de encuestados por beneficio y limitantes en el uso de cable aéreo.

Ítem	Beneficios	Limitantes. Encuestados (%)		
	Encuestados (%)	Costo inversión y mantenimiento	Otras	No las hay
Reducción de costos y aumento rendimiento recolección	40,3	13,9	16,7	9,7
Enganche, empleabilidad y retención de recolectores	41,7	12,5	19,4	9,7
Transporte de cultivos, equipos e insumos, valorización, otros	18,1	5,6	4,2	8,3
General (%)	100	31,9	40,3	27,8

años; siendo especialmente importante esta facilidad de carga para caficultores de edad avanzada que, en fincas pequeñas, e incluso medianas, recolectan en buena medida el café con su propia mano de obra.

Descripción del recolector

El 75% de los recolectores encuestados afirmó que la presencia del cable aéreo era el motivo primordial en la decisión de recolectar café en el predio respectivo, siendo el incremento en la eficiencia de la labor, el menor esfuerzo físico, la empleabilidad (personas mayores o de género femenino) y la menor accidentalidad

(por caídas con cargas a nivel), las motivaciones que los inducían a recolectar en estas fincas; dada la alta proporción de recolectores que a la vez son caficultores en la geografía colombiana se determinó la edad y experticia en la labor para recolectores caficultores y recolectores operarios, con los datos registrados en la Figura 1.

En general, se observa que hay una tendencia en la cual los caficultores que recolectan café tienen mayores edades y experiencia frente a recolectores no propietarios, cuando se agrupan a partir del rango intercuartílico de los datos registrados.

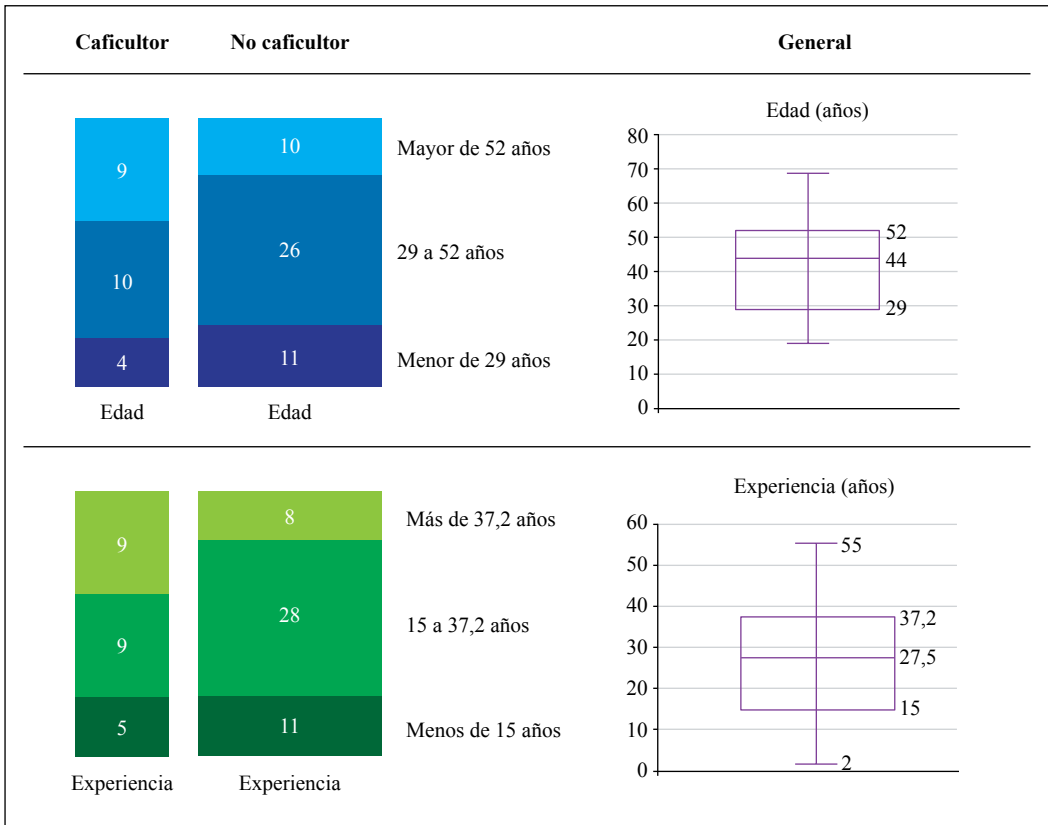


Figura 1. Condición etaria y de experiencia de operarios agrupados como recolector caficultor y recolector u operario no caficultor.

Descripción de la tecnología

En regiones cafeteras existe diversidad en los dispositivos instalados, especialmente en cuanto al sistema de giro: los de tipo continuo (el cable de arrastre gira permanentemente o bicable, es decir, con un cable portante y un cable tractor) y el tipo *winch* (se enrolla sobre un tambor o monocables) como se ilustra en la Figura 2. No se encontraron en fincas cafeteras sistemas de tricable (con dos cables portantes y uno tractor) como los menciona Agrosavia en cultivos de caña panelera (Cubillos et al., 2023).

En relación con el sistema de frenado priman los mecánicos y, más recientemente, se están instalando los de freno electro asistido, lo cual facilita la administración del dispositivo de forma sistematizada y más segura (Figura 3).

Sobre los puntos de cargue en los lotes también hay variedad en cuanto al acopio del café, desde plataformas sencillas de paso hasta tolvas de recibo y pesaje en los mismos lotes. El tipo de plataforma puede ser de canastilla o de tarima, las primeras facilitan la descarga

en la tolva final de recibo, mientras que las segundas son más comunes en fincas donde se acarrean otros productos agrícolas, como el plátano (Figura 4).

Otros factores que son distintivos en los predios son el número de líneas o tendidos de cable, el sistema motorizado, que puede ser por combustión o eléctrico, el diseño de puntos de cargue, que puede ser de un solo punto o múltiples puntos de carga, todo enmarcado en la construcción desde cables artesanales, con falencias en el manejo de estos, hasta sistemas con altos estándares de seguridad y eficiencia.

La tecnología empleada, al someterla al análisis univariado, agrupando de acuerdo al tamaño de la finca y límites en los percentiles 25 y 75, señala como tendencias que a mayor tamaño de la propiedad es más extensa la longitud del cable aéreo, el volumen de la plataforma empleada y prima el empleo de potencias de motor mayores de 4 CV; en fincas pequeñas se observa una mayor proporción de área cafetera cubierta con el cable y en fincas medianas se presenta un mayor número de



Figura 2. Sistema de arrastre del cable aéreo. a. Tipo continuo o bicable; b. Tipo cabrestante o *winch*.

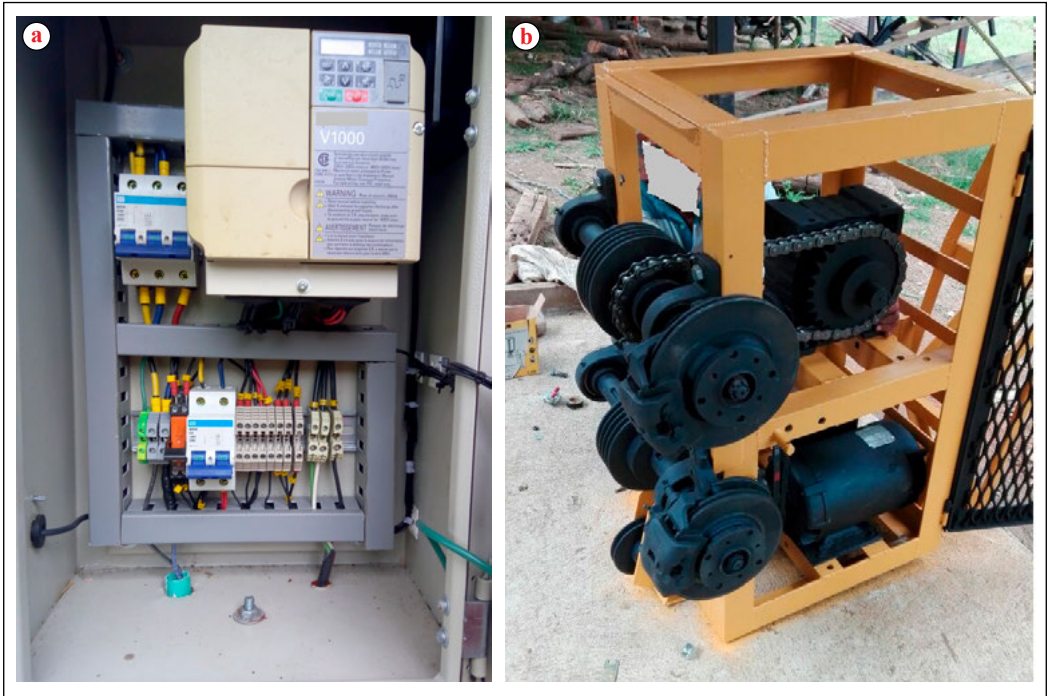


Figura 3. Sistema de frenado. a. Electro asistido; b. Mecánico.



Figura 4. Tipo de plataforma de carga. a. Tipo tarima o plataforma; b. Tipo canasta.

puntos de cargue, tal y como se presenta en las gráficas de Marimekko (Figura 5), puede deducirse en una primera aproximación que la mayor cantidad de café movilizado en fincas grandes se sustenta en promedios en la longitud de 664 m y capacidad de la plataforma del cable aéreo de 270 kg.

La capacidad del sistema medida en el estudio permitió determinar que puede transportarse desde 0,5 hasta 22,0 t día⁻¹ de producto, de acuerdo principalmente con la capacidad de la plataforma, fuerza motriz, el diseño de cobertura del terreno del cable, la longitud del sistema y la velocidad de operación del mismo, este valor puede referenciarse con lo investigado por Agrosavia (Cubillos et al., 2023) en tricables con capacidad entre 250 kg y 400 kg de caña en plataforma y que presentan una capacidad de carga total promedio de 10 t día⁻¹.

En cuanto a la instalación se observa que la diversidad de escenarios exige que para cada predio se elabore una estrategia o diseño adecuado para el debido cubrimiento de área, de una manera técnica, económica y sustentable, como también lo plantea Forero & Sánchez (2016).

Descripción de las fincas

En cuanto a las fincas donde se encuentra la tecnología se presenta un análisis descriptivo, el cual señala que existe la adopción de estos sistemas en diferentes condiciones de tamaño de área en café, en general, la cobertura general media del cultivo con transporte con cable es de 69,7% (C.V. 3,8%); con una media por tamaño de finca de 75,4% (C.V. 4,7%), 64,4% (C.V. 6,7%) y 60,5 % (C.V. 11,5%) en pequeñas, medianas y grandes respectivamente, cuyas características se describen en la Tabla 3.

En las fincas en menor tamaño, la cantidad de fincas con especialización en café es menor (porcentaje de área dedicada al café mayor del 80%), lo anterior puede indicar que en fincas pequeñas el caficultor tiende a emplear el cable en el movimiento de otros cultivos como plátano, aguacate, entre otros, siendo el cultivo de café la principal fuente de ingresos.

Descripción de costos y tiempos

El precio pagado en fletes de frutos de café dentro del predio por parte del caficultor, es asumido de forma explícita como un sobrecosto a cancelar al operario recolector por cantidad de kilogramos cosechados (costo implícito) o por el tiempo pagado cuando la recolección es al día o al jornal (costo explícito), y ocasionalmente, e incluso puede presentar una tarifa adicional que el recolector incluye en el costo de recolección al destajo, dada la dificultad de la tarea en algunos lotes de la finca. En este sentido, el valor pagado por flete de frutos de café dentro de las fincas visitadas fluctúa entre 30 y 150 COP\$/kg de frutos de café (unos \$1.800 a \$9.000 pesos por arroba de café pergamino seco - c.p.s.).

Dado entonces que, tanto la dificultad como el tiempo eran factores determinantes del costo final pactado, se determinó para estas fincas el tiempo demandado para el transporte de frutos de café anterior y posterior a la instalación del cable aéreo. Para el análisis anterior se confrontaron los datos de tiempos, que de manera independiente expresaron tanto los caficultores como los recolectores, a fin de disminuir el posible sesgo en alguno de los dos actores económicos presentes.

A partir de la Tabla 4 puede concluirse que el tiempo esperado en fincas con cable es del orden de 15 min (d.e. 4,9) y en fincas sin cable de 57,6 min (d.e. 17,5).

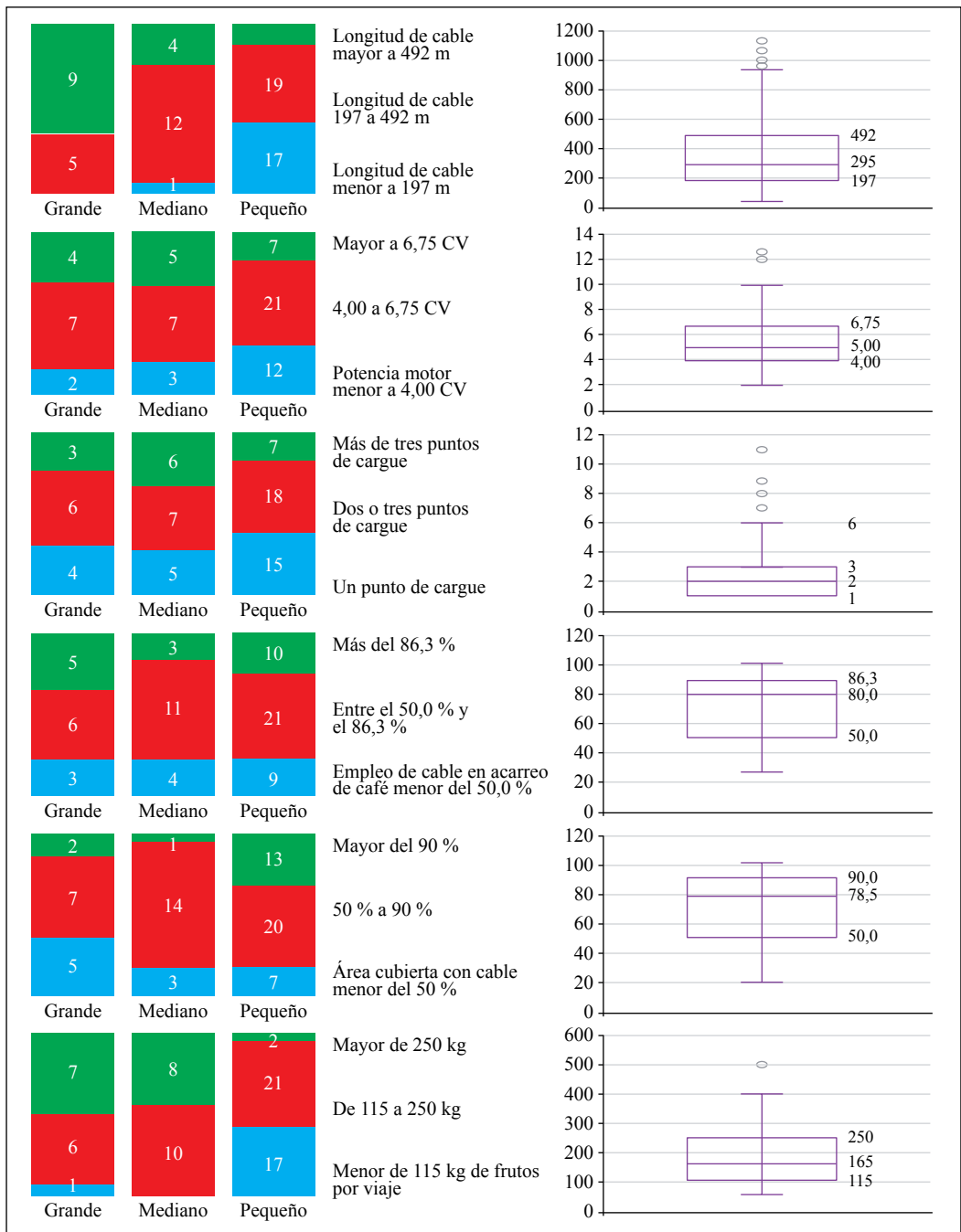


Figura 5. Tecnología empleada. Longitudes de cable, potencia del motor, puntos de cargue en el trayecto, proporción de empleo del cable en acarreo de café, área cafetera cubierta con cable y capacidad de la plataforma de carga agrupadas por tipo de predio.

Tabla 3. Características de las fincas cafeteras con cables aéreos.

Tipo de predio	Área en café (ha)			Productividad por hectárea (kg ha ⁻¹ de cc)			Predio especializado en café*
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Proporción
Grande	20,1	11	59,6	9.243	4.443	17.489	57,1%
Mediano	7,1	5,5	9,2	8.898	4.443	18.553	50,0%
Pequeño	2,9	0,9	5,0	8.166	4.221	19.326	40,0%
General	7,3	0,9	59,6	8.548	4.221	19.326	45,8%

* Finca con más del 80% del área dedicada al cultivo de café. cc: Café cereza.

Tabla 4. Tiempos demandados en el transporte de frutos de café (min) sin cable aéreo y con cable aéreo por jornada.

	Tipo de caficultor	Mínimo	Promedio	Máximo	Tiempo esperado*	Desviación estándar
Sin cable	Pequeño	15,0	51,9	115,0	56,3	16,7
	Mediano	20,0	53,4	120,0	59,0	16,7
	Grande	22,0	53,5	100,0	56,0	13,0
	General	15,0	52,6	120,0	57,6	17,5
Con Cable	Pequeño	4,3	12,6	28,0	13,8	3,9
	Mediano	5,7	14,2	33,7	16,0	4,7
	Grande	7,3	13,0	23,0	13,7	2,6
	General	4,3	13,1	33,7	15,0	4,9

* Tiempo esperado usando una distribución de probabilidad beta.

Limitantes

El 14% de los caficultores declararon como principal limitante para adoptar los dispositivos, la inversión inicial y el costo de mantenimiento (Tabla 2). En la Figura 6 se presenta el monto de inversión realizado en los predios, de acuerdo al tamaño de los mismos, cuyos promedios ascendieron a 15,9; 27,3 y 38,2 millones de pesos para movilizar café en fincas pequeñas, medianas y grandes, esto implica que el valor de la instalación es acorde al tamaño del predio, lo cual explica el por qué este tipo de montaje se observa indistinto del tamaño de la finca cafetera. Como reseña

plantea Agrosavia (Cubillos et al., 2023) que en caña panelera, para implementar un sistema de transporte el costo es de \$ 100.000 COP por metro lineal de cable.

Para superar esta limitante del costo de instalación en Colombia, una alternativa de manera individual es recurrir a financiamiento por las Líneas Especiales de Crédito para inversión (LEC), con tasas de interés preferenciales de Finagro (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro], 2023) o acceder a recursos de la Agencia de Desarrollo Rural por medio de Proyectos Integrales de Desarrollo

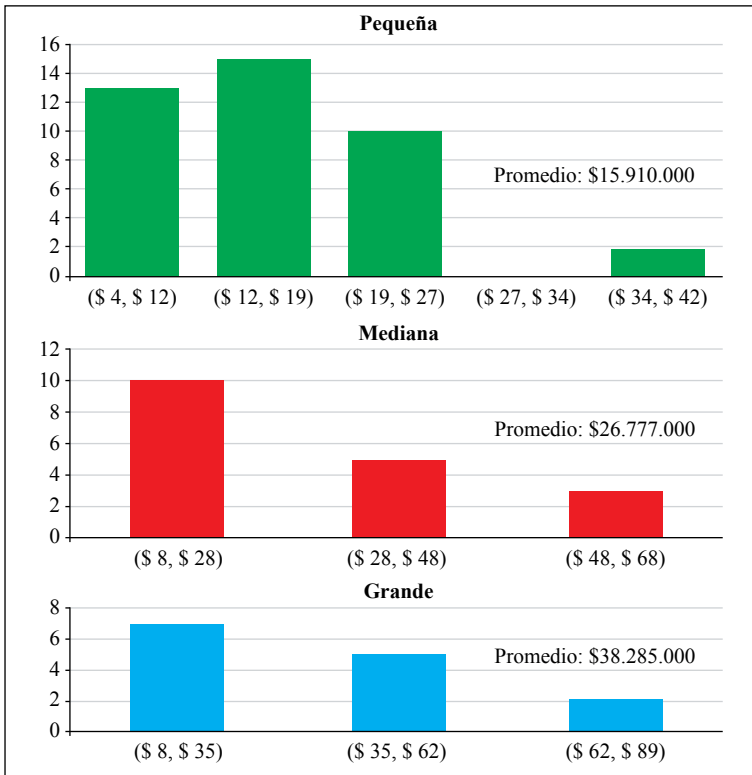


Figura 6. Histograma de frecuencias del costo de la instalación (en millones COP) del cable aéreo agrupados por tamaño de finca.

Agropecuario (Pidar) para comunidades (Agencia de Desarrollo Rural [ADR], 2019).

En cuanto al costo logístico incurrido por transporte interno de productos vegetales cosechados puede citarse el caso de la caña, donde el “alce y transporte desde los lotes de cultivo hacia el trapiche representa en promedio el 20% de los costos de producción” (Forero & Sánchez, 2016); en el caso de café este estudio determinó que los tiempos son tan bajos, de 10 a 15 minutos, o tan altos como una hora por jornada diaria, este caso es una de las razones primordiales por las cuales los caficultores emplean cables (Tabla 4).

En cuanto al costo por utilizar el cable, este puede desglosarse en intereses, depreciación de equipos, depreciación de infraestructura,

reparaciones y mantenimiento, seguros, energía, comburentes y la mano de obra de operación del cable, que permitieron tasar su aporte en el costo unitario variable final por kilogramo transportado (Figura 7). En conjunto, el costo directo (energía, combustibles y mano de obra) es bajo, en comparación al indirecto (depreciación, mantenimiento) y los gastos (intereses), de allí que la adecuada planeación técnica y financiera del sistema de cable juegue un rol preponderante en el costo por kilogramo movilizado. Es importante entonces el apoyo de instituciones del agro para el diseño de cables aéreos, especialmente con pequeños productores, tal como lo efectúa Fedepanela, la cual ayuda a verificar las condiciones topográficas, el posible trazado y otros parámetros para evaluar la factibilidad del cable aéreo (Cubillos et al., 2023).

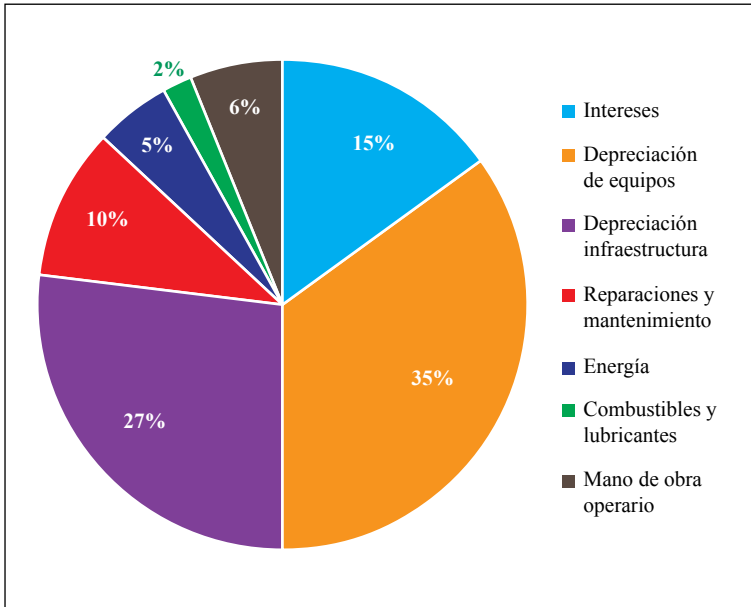


Figura 7. Proporción de costos variables unitarios en el empleo del cable aéreo.

Dado que el aporte en la función de costos de la mano de obra era negativo, no fue útil en términos económicos que operan sobre valores positivos (Gujarati & Porter, 2010); aplicando una regresión por pasos, se llegó a la Ecuación <1>.

$$\text{Ln CCC} = 0,049 \text{ Ln CAI} + 0,0425 \text{ Ln DAE} + 1,003 \text{ Ln DAI. } r^2:0,97 \quad <1>$$

Donde:

CCC: costo por carga de café pergamino seco movilizada por cable aéreo

CAI: costo anual intereses

DAE: depreciación anual equipos

DAI: depreciación anual infraestructura

Los caficultores incurrieron en costos de \$37.625 (C.V. 61%) por cada carga (125 kg) de café pergamino seco movilizado por el cable aéreo, anotando una vez más que, este valor calculado se circunscribe a la muestra estudiada y no debe ser extrapolado a otras condiciones.

Descripción general en cuanto a seguridad y diseño

En el estudio se encontró que hay escasa cobertura de riesgo por medio de seguros de daños en los equipos o responsabilidad civil contractual y extracontractual; de igual modo, las reparaciones y mantenimiento no son las adecuadas en algunas fincas, y del allí, el bajo costo incurrido frente a un escenario de mantenimiento apropiado que debería ser del orden del 5% anual del valor de la inversión, además cerca del 30% de los caficultores manifiestan que no realizan ningún mantenimiento al cable, especialmente en las fincas pequeñas (Tabla 5).

El empleo ideal del sistema de cable pasa por la revisión programada y el adecuado mantenimiento de los equipos, desde el rutinario (limpieza, engrase, despeje visual del paso del cable), hasta el técnico (calibrado de velocidad, reposiciones por desgaste de frenos y cables), capacitación de operarios

Tabla 5. Proporción de caficultores que realizan mantenimiento al cable aéreo.

Tipo caficultor	Realizan mantenimiento		Encuestados (%)
	Si (%)	No (%)	
Grande	16,66	2,78	19,44
Mediano	18,06	5,56	23,62
Pequeño	34,72	22,22	56,94
General	69,44	30,56	100,0

(sobre el reglamento y operación segura) y protección de los mismos (guantes, casco, gafas), además de las señalizaciones (avisos) y protecciones de riesgo (protectores de cables eléctricos, carcasas de equipos), los cuales determinan de forma preventiva un menor costo de operación, que realizar reposiciones cuando los equipos fallan, esto a su vez, conlleva a que un alto porcentaje de caficultores corren un riesgo en la operación del mismo, máxime cuando no asumen un mecanismo subsidiario del riesgo (seguros o pólizas) y cualquier eventualidad con los operarios se cruza directamente contra el patrimonio del caficultor.

En este estudio puede considerarse que la instalación de estos sistemas trae como principal ventaja el hecho de reducir costos en el transporte de frutos de café, en aquellas fincas donde el tiempo dedicado a esta actividad toma una parte importante de la jornada del recolector, mejorando además el enganche y retención de operarios, dada la disminución de esfuerzos por transporte de carga, esto al tenor de lo expuesto por el Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología [Colciencias] et al. (2016) que expone que el indicador de productividad agrícola en Colombia ha sido impulsado más

por el cambio técnico que por la eficiencia de producción expresada en rendimiento por hectárea.

Se concluye que las fincas grandes emplean cable de mayor longitud y plataformas de mayor tamaño, que probablemente responden a las mayores cantidades de café movilizado, y es en estas donde se aprecia una mayor proporción de fincas que hacen mantenimiento del sistema frente a fincas pequeñas, lo cual determina no solo la durabilidad de los equipos sino la seguridad de su operación.

A futuro, se requiere mejorar la funcionalidad de estos dispositivos por los interesados en cuanto a un diseño óptimo de cobertura del área de la finca, puesto que la inversión inicial, vía depreciación, influye en el 60% de los costos variables, por lo cual desde el mismo diseño del cable se determina el éxito económico de la tecnología.

Para los caficultores que ya poseen al sistema de cable debe analizarse la eficiencia en operación, la incorporación de principios de empleo seguro y eficiente, y determinar la relación de beneficio y costo de la operación al interior de cada finca y en cómo aprovechar en mayor medida

los beneficios del cable aéreo, dada la alta predilección de los recolectores por cosechar en fincas con estos dispositivos.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a los caficultores que participaron en la encuesta y al Servicio de Extensión de los Comités Departamentales del Valle, Antioquia, Huila, Tolima, Caldas, Santander y Risaralda, al igual que al Dr. Juan Rodrigo Sanz y la Dra. Esther Cecilia Montoya por su amable

asesoría. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Crossref Funder ID 100019597, proyecto número ECO103004.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES







Conceptualización, Análisis formal, Curación de datos, Investigación, Validación, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición: JCG. El autor ha leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

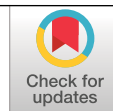
- Agencia de Desarrollo Rural [ADR]. (2019). *Reglamento para proyectos integrales de desarrollo agropecuario y rural con enfoque territorial*. <https://www.adr.gov.co/wp-content/uploads/2021/07/Manual-PIDAR-2019-V1-06.06.2019.pdf>
- ARL Sura. (s/f). *Manejo manual de cargas*. Recuperado el 8 de mayo de 2024, de https://www.arlsura.com/index2.php?option=com_content&task=view&id=785&Itemid=346&pop=1&page=0
- Barreira, T. V., Rowe, D. A., & Kang, M. (2010). Parameters of Walking and Jogging in Healthy Young Adults. *International Journal of Exercise Science*, 3(1), 4-13.
- Cubillos, A., Lesmes Suárez, J. C., Murcia, J. S., Murcia, S. D., Varón Ramírez, V. M., & Santacruz, A. M. (2023). *Tecnologías de transporte por cable aéreo para condiciones de ladera*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7406399>
- Ministerio de Transporte. (2004). *Decreto No.1072 de 2004. Por el cual se reglamenta el Servicio Público de Transporte por Cable de Pasajeros y Carga*. <https://www.ani.gov.co/normatividad-inco/decreto-no1072-de-2004-457>
- Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, & Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). *PECTIA :Plan Estratégico de Ciencia, Tecnología e Innovación del sector Agropecuario colombiano (2017-2027)*. [Corporación colombiana de investigación agropecuaria-AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12759>
- Duque, H., & Dussan, C. (2005). *Productividad de la mano de obra en la cosecha de café en cuatro municipios de la región cafetera central de Caldas*. *Revista Cenicafé*, 55(3), 246-258. <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/256>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2017). La recolección de café en Colombia: Una caracterización del mercado laboral. *Revista Ensayos Sobre Economía Cafetera*, 32(1), 35-65. <https://doi.org/10.38141/10788/032-1-4>
- Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro]. (s/f). *Lineas Especiales de Crédito—LEC FINAGRO*. Recuperado el 9 de mayo de 2024, de <https://www.finagro.com.co/lineas-especiales-credito-lec-finagro>
- Martínez, R. A., Montoya-Restrepo, E. C., Vélez-Zape, J. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2005). Estudio de tiempos y movimientos de la recolección manual del café en condiciones de alta pendiente. *Revista Cenicafé*, 56(1), 50-66. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/115>
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). *Resolución 2400 de 1979. Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo*. <https://www.bogotajuridica.gov.co/sisjur/normas/Normal.jsp?i=53565>

- Oliveros, C. E., & Sanz, J. R. (2011). Ingeniería y café en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 33(1), 99–114. <https://doi.org/10.16924/revinge.33.10>
- Parra, H., Álvarez, F., & Roa Mejía, G. (1989). Transporte de café cereza por cable aéreo de gravedad. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 42(2), 31–57. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28451>
- Patiño, F., Gómez, A., & Álvarez, F. (1994). Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 47(1- 2), 73–88. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28551>
- Salazar, K., Arroyave, A., Ovalle, A. M., Ocampo, O. L., Ramírez, C. A., & Oliveros, C. E. (2016). Tiempos en la recolección manual tradicional de café. *Ingeniería Industrial*, 37(2), 114-126. <https://www.redalyc.org/pdf/3604/360446197002.pdf>
- Forero C, C. A., & Sánchez J, R. J. (2016). *Modelo productivo manejo agronómico de la caña de azúcar y producción agroindustrial de panela en la hoyo de río Suárez*. Corporación colombiana de investigación agropecuaria–AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13747>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., & Londoño-González, M. T. (2011). Sistema de malacate y vagón para transporte de café en cereza en condiciones de alta pendiente. *Revista Cenicafé*, 62(2), 100–110. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/468>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Ramírez, C., Peñuela, A., & Ramos, P. (2013). *Proceso de beneficio*. En *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), Manual del Cafetero Colombiano, Investigación y Tecnología para la Sostenibilidad de la Caficultura*. (Vol. 3). Cenicafé.
- Snedecor, G. W., & Cochran, W. G. (1996). *Statistical methods* (8a ed.). Iowa State Univ. Press.
- Vélez Zape, J. C., Montoya, E. C., & Oliveros Tascón, C. E. (1999). Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. *Boletín Técnico Cenicafé*, 21, 1–97. <https://doi.org/10.38141/10781/021>

COMPORTAMIENTO POBLACIONAL Y ESTRATEGIAS DE CONTROL DE LA BROCA DURANTE LA RETENCIÓN DE PASES DE COSECHA

Luis Miguel Constantino Chuaire *, Pablo Benavides Machado *, Esther Cecilia Montoya Restrepo **, Héctor Flavio Álvarez Agudelo ***, Jhon Félix Trejos Pinzón ****, Juan Rodrigo Sanz Uribe ****

Constantino, L. M., Benavides, P., Montoya, E. C., Álvarez-Agudelo, H. F., Trejos Pinzón, J. F., & Sanz-Uribe, J. R. (2024). Comportamiento poblacional y estrategias de control de la broca durante la retención de pases de cosecha. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75102. <https://doi.org/10.38141/10778/75102>



La retención de frutos de café durante 35 días, para la cosecha asistida con lonas, es una práctica que permite aumentar la oferta de frutos maduros de café durante las cosechas; sin embargo, esto aumenta los riesgos de infestación por broca, al quedar los frutos maduros expuestos por más tiempo. Para alcanzar el objetivo de identificar las fuentes de infestación de la broca del café, *Hypothenemus hampei*, durante la retención de pases y desarrollar estrategias de control, se identificó la fuente de infestación por broca en los frutos del árbol, y se evaluaron el efecto de esta práctica en la caída de frutos y las estrategias de control de broca durante la retención de frutos de cosecha. Los resultados permitieron conocer que, durante la retención de pases de cosecha por 35 días, las brocas que perforan los frutos maduros se originan de los frutos infestados que se quedan después de las cosechas en el árbol y en el suelo. Adicionalmente, pudo determinarse que durante este tiempo hay caída de frutos, incrementándose de 12 a 41 frutos por árbol. Finalmente, se demostró que recolectar los frutos del suelo con canastilla al inicio de la retención y la posterior aplicación del hongo *Beauveria bassiana* dirigida a los frutos de los árboles y al suelo, diez días después, mantiene los niveles de broca por debajo del 5,0%. Ningún tipo de control significa obtener infestaciones superiores al 15% y hasta 33%.

Palabras clave: Control cultural, *Beauveria bassiana*, *Hypothenemus hampei*, Caficultura, café, Cenicafé, Colombia.

POPULATION BEHAVIOR AND CONTROL STRATEGIES FOR THE COFFEE BERRY BORER DURING HARVEST PASS RETENTION

Harvest pass retention for 35 days, in order to assist harvesting with tarpaulins, is a practice to increase the availability of ripe coffee cherries during harvesting. However, it also increases the risk of infestation by the coffee cherry borer (*Hypothenemus hampei*) infestation, as the ripe cherries remain exposed for a longer period. To identify the sources of CBB infestation during pass retention and to develop control strategies, the source of borer infestation in the cherries on the tree was identified, and the effect of this practice on cherry drop and control strategies for the borer during cherry retention were evaluated. The results revealed that during the 35-day pass retention, borers that penetrate ripe cherries originate from infested cherries left on the tree and on the ground after harvests. Additionally, it was determined that during this period, cherry drop increased from 12 to 41 cherries per tree. Finally, it was demonstrated that collecting fallen cherries from the ground at the beginning of retention and subsequently applying the fungus *Beauveria bassiana* to cherries on the trees and the ground 10 days later demonstrated success in reducing borer infestations to less than 5.0%. Without any control, the infestation rate can exceed 15% and reach up to 33%.

Keywords: Cultural control, *Beauveria bassiana*, *Hypothenemus hampei*, coffee cultivation, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8117-5803>, <https://orcid.org/0000-0003-2227-4232>

** Coordinadora de Programa Nacional Gerencia Técnica - FNC. <https://orcid.org/0000-0001-5891-1040>

*** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>

**** Investigador Científico III. Disciplina de Poscosecha, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>



La broca del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera:Curculionidae) es la principal plaga que genera mayores pérdidas económicas. Las hembras perforan los frutos del café para formar galerías para alimentarse y reproducirse en el endospermo (Bustillo et al., 1998). Cuando los niveles de infestación son altos (> 5,0%), genera pérdidas económicas por baja calidad del grano y reducción en peso, que puede oscilar entre un 10,82% a 45,12% (Montoya, 1999). Dada la situación actual de la caficultura de Colombia, en la cual la disponibilidad de mano de obra para asistir la cosecha se ha venido reduciendo en los últimos años y su costo se ha incrementado, es necesario desarrollar nuevas alternativas para cosechar como el uso de lonas y las derribadoras que se han estado evaluando con el propósito de reducir los costos de recolección e incrementar la relación costo beneficio (Sanz et al., 2021). Sobre este aspecto, en Colombia se desarrolló un nuevo concepto denominado cosecha asistida de café que implica la adopción de tres prácticas que pueden usarse de manera aditiva y escalarse independientemente del tamaño de la finca: retención de pases, recolección con lonas y uso de la Derribadora DSC18 (Sanz et al., 2021). Para esto se requiere retener los pases de cosecha durante 35 días para lograr alcanzar masas de hasta un 50% de frutos maduros y sobremaduros. Esta nueva práctica desarrollada en Cenicafé, mejora la productividad de la cosecha logrando rendimientos superiores al 41,0% de volumen de café recolectado frente al recipiente tradicional y requiere de menor cantidad de personal y tiempo (Sanz et al., 2018). Sin embargo, esta práctica aumenta los riesgos de infestación por broca del café, al quedar los frutos maduros expuestos en el árbol por más tiempo. Este tipo de cosecha está limitada a cafetales que tengan infestaciones menores al 2,0%. Por esta razón, es importante establecer estrategias de manejo de broca para aquellos caficultores que comiencen

a retener pases con niveles de infestación mayores o iguales al 2,0%.

Evaluaciones previas adelantadas por la Disciplina de Entomología, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé, mostraron que las poblaciones de broca en aquellos lotes donde se realizó la retención de pases de cosecha, que tenían niveles de infestación de broca superiores al 5,0% al inicio, estos niveles se incrementaron y continuaron altos durante la retención de pases (entre 5,0% y 24,0%) por lo que no se recomienda hacer retención de pases en estas condiciones (Sanz et al., 2018).

Estos resultados mostraron que durante la cosecha principal se registró una dinámica de vuelos de broca, que pueden afectar la cosecha y causar daño económico, afectando la calidad del grano (defecto “beso de broca”) que es castigado en los puntos de compra en las cooperativas de café. Igualmente, se presentaron lotes donde los niveles de infestación de broca estuvieron por debajo del 2,0% y continuaron bajos durante la retención de pases (Sanz et al., 2018), siendo esta la condición ideal y que se requiere mantener para evitar el riesgo de daño económico.

Para mantener las poblaciones de broca por debajo del nivel de daño económico (<5%), Cenicafé implementó un programa de Manejo Integrado de la Broca (MIB) que involucra prácticas de control cultural, biológico y químico (Bustillo et al., 1998). El control cultural consiste en remover los frutos brocados del árbol y del suelo manualmente o con canastilla después de finalizadas las cosechas, siendo la práctica más eficiente para el control de esta plaga (Constantino et al., 2017; Johnson et al., 2020). El control biológico consiste en la aplicación del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* durante el período crítico de ataque de la broca del café, es decir, a los 120 días después de la

floración y cuando los niveles de infestación están por encima del 2,0% y más del 50,0% de las brocas en posición de penetración A y B (Arcila, 2011; Góngora et al., 2023), complementado con el uso de los parasitoides de origen africano *Prorops nasuta* Waterston y *Phymastichus coffea* LaSalle (Benavides et al., 2012). En Colombia estas estrategias de manejo integrado de la broca del café involucrando prácticas de control cultural, biológico y químico, han permitido mantener las poblaciones por debajo del nivel de daño económico (Molina et al., 2022).

Las regiones cafeteras con temperaturas altas y altitudes bajas son altamente vulnerables al ataque de la broca del café. Esta evidencia confirma que la capacidad reproductiva de la broca del café es muy alta, una vez el insecto perfora un fruto de café, es así como una sola hembra a una temperatura de 18°C puede colocar en promedio 40 huevos, a 20°C produce el doble de descendencia (80 huevos) y a 25°C la población se triplica, o sea la misma hembra es capaz de colocar tres veces más cantidad de huevos y dejar una descendencia de 130 hijas (Giraldo et al., 2018), por lo cual se presenta un crecimiento del insecto muy rápido y en corto tiempo. Igualmente, a mayor temperatura el tiempo generacional de la broca (duración de huevo hasta adulto) va a ser más corto y más rápido, de 72 días a 18°C, 55 días a 20°C, 38 días a 22°C y 22 días a 25°C (Giraldo et al., 2018). Estos resultados muestran que en localidades por encima de 21°C la broca fácilmente puede alcanzar una generación poblacional, durante los 35 días que dura la retención de pases de cosecha, lo que podría explicar por qué se presenta una dinámica de vuelos de broca tan alta durante la cosecha.

En cuanto a la dispersión de la broca del café, estudios realizados en Cenicafé indican que en cafetales en producción, la

broca vuela a distancias no mayores de 65 m, y el 90% de los insectos prefieren infestar frutos del mismo cafetal, en distancias no mayores a los 20 m (Gil et al., 2015, 2021), esto significa que las brocas que emergen de los frutos se originan de la misma parcela y re-infestan nuevos frutos en el mismo lote e incluso del mismo árbol, pues el insecto al tener suficiente alimento disponible a su alcance en el cafetal no requiere irse fuera de este; sin embargo, en épocas de zoqueo y cuando no se hace la cosecha sanitaria, se ha estimado que pueden volar entre 2,0 y 4,5 millones de brocas por hectárea de esos lotes hacia los cafetales vecinos (Castaño et al., 2005). También pueden ocurrir escapes de broca durante la cosecha de café, cuando las estopas no se cierran durante el pesado de café, igualmente de las tolvas de recibo en el beneficiadero, cuando las cubiertas se dejan abiertas, y durante el secado de pasillas y flotes, cuando no se hace la solarización adecuada de estas para eliminarlas, pudiendo volar para regresar de nuevo a los lotes de la finca (Benavides, 2011). Pero el problema mayor radica en el impacto que tienen los frutos brocados que se quedan en el suelo o en el árbol después de las cosechas.

Un estudio realizado en Cenicafé encontró que un solo fruto brocado dejado en el suelo en una localidad a 1.280 m, fue capaz de infestar 150 frutos en el árbol, durante un periodo climático La Niña, 590 frutos en un periodo Neutro y 959 frutos en un periodo El Niño, es decir, un aumento de 1,2°C en la temperatura media incrementó los niveles de infestación en el árbol al final de un ciclo productivo, en 28,1% a 1.218 m de altitud, 21,1% a 1.381 m, 13,3% a 1.470 m, y 0,8% a y 1.700 m de altitud, en comparación con un periodo neutro (Constantino et al., 2021). Por lo tanto, existe una relación entre la dinámica de infestación de la broca y la altitud, siendo mayor el desarrollo del

insecto en localidades bajas (1.200-1.300 m de altitud), con temperaturas medias superiores a 21°C, y el desarrollo es menor en sitios por encima de 1.600 m, con temperaturas medias por debajo de 20°C (Constantino, 2009; Ramírez et al., 2014).

La temperatura es por consiguiente la variable que más favorece el desarrollo de la broca del café incrementando su tasa reproductiva y el número de generaciones al año, con un número potencial que puede oscilar entre dos y 16 generaciones (Góngora et al., 2023). Esta información ha servido para desarrollar mapas de vulnerabilidad a la broca del café, a partir de datos biológicos de la plaga e información climática, con el fin de realizar actividades de monitoreo y manejo de la broca del café por parte de los caficultores, sobre todo en aquellas regiones vulnerables al ataque de broca y en épocas críticas, durante períodos de verano y durante eventos climáticos El Niño (Giraldo et al., 2019).

Los frutos brocados de café que se quedan en el árbol y en el suelo después de la cosecha se convierten en el lugar de reproducción y fuente de dispersión de la broca. Por esta razón es importante realizar un buen repase, ya sea de forma manual o con canastilla, recogiendo los frutos secos, sobremaduros y maduros del árbol y del suelo al finalizar las cosechas, principal y de mitaca, para cortar el ciclo del insecto y proteger los frutos en formación (Bustillo 2002; Constantino et al., 2016; Constantino & Benavides, 2018). Cuando los frutos sobremaduros y secos quedan en el suelo, la broca sigue reproduciéndose en ellos hasta alcanzar una descendencia numerosa (entre 30-150 adultos por fruto) (Bustillo et al., 1996). Los períodos prolongados de sequía favorecen el desarrollo del insecto en menor tiempo, produciendo mayor reproducción

dentro de los frutos. Con la llegada de las lluvias las brocas emergen entre los 45 y 60 días posteriores, dispersándose por el cafetal y penetrando los frutos remanentes en el árbol (Baker, 1984; Constantino et al., 2021).

Todos estos antecedentes nos indican que la dinámica de la broca en el campo está relacionada con muchos factores tales como las variables de clima, las prácticas agronómicas, la edad, densidad del cultivo y la altitud, entre otras. Por estas razones, el momento de los vuelos del insecto varían anualmente en cantidad y proporción. El manejo integrado de plagas se basa en la situación del insecto y del cultivo para determinar el momento oportuno para las aplicaciones de insecticidas, de tal manera que aplicar estos en calendarios fijos no conlleva a resultados eficaces. Las aplicaciones deben basarse en criterios como nivel de infestación, posición de la broca en el fruto, momento oportuno y estado de los frutos. La aplicación de insecticidas, sean biológicos o químicos, se recomienda realizarla durante el período crítico de ataque de la broca si la infestación es igual o mayor al 2,0% y más del 50,0% de las brocas se encuentran en las posiciones de penetración A y B (Góngora, 2009; Arcila, 2011). Este estudio tuvo como objetivo identificar las fuentes de infestación de broca durante la retención de pases y establecer las estrategias de control.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración. Esta investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental La Catalina (Tabla 1).

Para alcanzar el objetivo de identificar las fuentes de infestación de la broca del café durante la retención de pases y desarrollar estrategias de control, esta investigación se desarrolló en tres etapas.

Tabla 1. Ubicación, área, temperatura y precipitación de la Estación Experimental La Catalina.

Estación Experimental	Departamento	Municipio	Coordenadas geográficas	Altitud (m)	Temperatura media (°C)	Precipitación anual (mm)
La Catalina	Risaralda	Pereira	04°45'N 75°44'W	1.321	21,6	2.062

Etapa 1. Identificación de la fuente de infestación por broca en los frutos del árbol

Para esta etapa, se evaluaron en cosecha de mitaca y cosecha principal, dos modalidades, (árboles confinados con jaulas entomológicas y árboles sin confinamiento) y en cada modalidad cuatro fuentes de infestación:

- C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol.
- C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo.
- C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo.
- C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol y sin frutos perforados en el suelo.

Se verificó que todas las unidades experimentales (el árbol) tuvieran como mínimo un 2,0% de infestación de broca al inicio de la retención de los pases y un máximo del 6,0%, excepto las modalidades en las fuentes de infestación C2 y C4. El inicio de la retención empezó, tanto para cosecha de mitaca como la cosecha principal, el día 230 después de la primera floración principal (día cero) y terminó 35 días después del día cero.

Por cada tratamiento (combinación de modalidad y fuentes de infestación), se

tuvieron ocho unidades experimentales (árbol), asignadas de acuerdo con el diseño experimental completamente aleatorio en arreglo factorial 2x4 (dos modalidades y cuatro fuentes de infestación). Entre cada unidad experimental se garantizó una distancia mínima de 10,0 m.

El conteo del número de frutos y frutos infestados, se realizó en toda la unidad experimental (árbol) y para C3 se garantizó al inicio del experimento (tiempo cero) que en el suelo hubiese el mismo número de frutos brocados que había en el árbol.

Al finalizar el tiempo de retención, se hizo la cosecha manual con lonas de los frutos pintones, maduros y sobremaduros y se contabilizó en cada unidad experimental el número de frutos y el número de ellos infestados en el árbol, para establecer la infestación en porcentaje, como variable de respuesta.

Análisis estadístico, para cada cosecha (mitaca y principal). Se evaluó el porcentaje de infestación de broca en el tiempo cero (inicio de la retención de pases), mínimo y máximo observado en cada tratamiento, en cada combinación de modalidad y fuente de infestación. Al finalizar el tiempo de retención de pases, o sea al día 35, se evaluó nuevamente el porcentaje de infestación de broca en los frutos del árbol, mínimo y máximo observado en cada tratamiento en cada combinación de modalidad y fuente de infestación. Se hizo un análisis de

varianza, al 5%, bajo el modelo asociado al diseño experimental completamente aleatorio en arreglo factorial 2 x 4 (dos modalidades y cuatro fuentes de infestación), con la variable de respuesta al finalizar el tiempo de retención. Para la comparación de los promedios de las fuentes de infestación se utilizó la prueba de Tukey al 5%; y para la comparación de las modalidades, la prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

Etapla 2. Evaluación del efecto de la retención de los pases en la caída de frutos

Para evaluar el efecto de la retención del pase en la caída de frutos, se definieron dos condiciones, el inicio y el final de la retención, evaluadas en las mismas unidades experimentales de la etapa 1 durante la cosecha principal para las fuentes de infestación C2 y C3, en ambas modalidades (árboles confinados con jaulas entomológicas y árboles sin confinamiento), teniendo en total 32 unidades experimentales por condición (ocho árboles por dos modalidades y dos fuentes de infestación). En cada condición se contó y registró el número de frutos y el número de ellos con broca (variables de respuesta), en el plato de cada árbol (unidad experimental).

Análisis estadístico. Para cada una de las condiciones se calculó el promedio y error estándar. Se realizó el análisis de varianza al 5%, con las variables de respuesta bajo el modelo asociado al diseño experimental completamente aleatorio.

Etapla 3. Evaluación de las prácticas de control de broca durante la retención de pases

En dos retenciones de la cosecha principal, se evaluaron las siguientes estrategias de manejo de broca del café, bajo el diseño experimental completamente aleatorio:

T1. Recolección de frutos del suelo con canastillas al inicio de la retención de pases y aplicación del hongo *Beauveria bassiana* 2,0 g L⁻¹ de agua en el árbol y en el suelo a los diez días después del inicio de la retención de pases (Micosis® a una concentración de 1 x 10¹⁰ esporas/gramo, utilizando un equipo de aspersión de presión previa retenida, Royal Cóndor 15-25, de una capacidad de 1,6 L y una boquilla TXVK-3 (flujo de 100 cc min⁻¹ a 25 p.s.i).

T2. Aplicación del hongo *Beauveria bassiana* 2,0 g L⁻¹ en el árbol y en el suelo a los diez días después del inicio de la retención de pases.

T3. Recolección de frutos del suelo con canastillas al inicio de la retención de pases.

T4. Testigo absoluto sin control.

La unidad experimental estuvo conformada por nueve árboles (que cubrieron la lona de 12 m) y por tratamiento; se tuvieron 15 unidades experimentales. Al inicio y al final de la retención, se contó y registró el número total de frutos y frutos infestados en los tres árboles centrales de cada unidad experimental, para determinar el porcentaje de infestación en el tiempo cero (inicio de la retención) y la infestación al final de la retención (variable de respuesta).

Análisis de la información

Para cada retención se calculó el promedio y error estándar por tratamiento para la infestación inicial y final. Se llevó a cabo el análisis de varianza bajo el modelo para el diseño experimental completamente aleatorio al 5%, con la infestación al inicio de la retención del pase y la infestación al final del repase, se aplicó la prueba de Tukey al 5% para la comparación de los promedios de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Etapa 1. Identificación de la fuente de infestación por broca en los frutos del árbol

En la Figura 1, se ilustra el montaje del experimento y en las Tablas 2 y 3, se evidenció la condición inicial de los tratamientos (tiempo 0), en cuanto al mínimo y máximo de infestación por broca, de cada uno de los tratamientos, excepto las modalidades en las fuentes de infestación C2 y C4, dada su condición inicial sin frutos perforados en el árbol. Al finalizar el tiempo de retención, los máximos se incrementaron hasta un 33,2% (Tablas 4 a la 7).

El análisis de varianza, con la información de la variable de respuesta, al finalizar el experimento (35 días de retención), no mostró efecto de la interacción, de tal manera que en aquellos tratamientos que en su inicio tenían frutos perforados en el árbol (C1 y

C3), la infestación por broca en promedio estuvo entre el 12,5% y 22,3% en mitaca y el 10,6% y 18,4% de infestación en cosecha principal. Mientras que en los tratamientos que no tenían frutos perforados por broca en el tiempo cero, el promedio al finalizar el experimento fluctuó entre el 1,3% y 4,9% de infestación por broca en mitaca y entre 2,0% y 7,6% en cosecha principal (Tabla 4 y 5).

A su vez, el análisis de varianza, mostró efecto de los factores por separado. En cuanto a la fuente de infestación la prueba de Tukey al 5%, indicó que los árboles con frutos perforados sólo en el árbol (C1) y los árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo (C3), en mitaca tienen la misma infestación promedio, y a su vez, presentaron las mayores estimaciones de infestación, con respecto a las otras dos fuentes; y en cosecha principal C1 y C3 difieren, donde C1 es el 72,8% de la infestación de C3 (Tablas 6 y 7). Estos resultados indican que la mayor



Figura 1. Parcela experimental en dos modalidades. Árboles cubiertos con jaula entomológica y árboles expuestos en lotes de café de cuarta cosecha.

infestación durante el tiempo de retención de los pases proviene de los frutos infestados del mismo árbol, corroborando la hipótesis de investigación “Los adultos de broca que infestan los frutos de cada uno de los árboles durante la retención del pase, proviene de los frutos brocados del mismo árbol”.

Por otro lado, los árboles confinados superaron el promedio de infestación, con respecto a los no confinados en la cosecha de mitaca, según prueba de diferencia mínima significativa, al 5%, mientras que en la cosecha principal fueron iguales estadísticamente (Tablas 8 y 9).

Tabla 2. Infestación mínima y máxima por broca observada, por cada modalidad y fuente de infestación, al iniciar el tiempo de retención - cosecha mitaca.

Fuentes de infestación	Modalidad			
	Árboles confinados		Árboles sin confinar	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	2,4	5,9	2,7	6,4
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	0	0	0	0
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	3,3	6,0	4,7	5,9
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	0	0	0	0

Tabla 3. Infestación mínima y máxima por broca observada, por cada modalidad y fuente de infestación, al iniciar el tiempo de retención - cosecha principal.

Fuentes de infestación	Modalidad			
	Árboles confinados		Árboles sin confinar	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	2,3	5,7	1,3	6,1
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	0	0	0	0
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	3,7	5,7	1,7	5,6
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	0	0	0	0

Tabla 4. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación, por cada modalidad y fuente de infestación (tratamientos), al finalizar el tiempo de retención - cosecha de mitaca.

Fuentes de infestación	Modalidad			
	Árboles confinados		Árboles sin confinar	
	Media	CV(%)	Media	CV(%)
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	15,4	44,5	10,7	40,5
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	4,9	62,1	3,5	67,9
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	22,3	40,1	12,5	49,2
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	1,3	38,7	3,6	85,4

Tabla 5. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación, por cada modalidad y fuente de infestación (tratamientos), al finalizar el tiempo de retención - cosecha principal.

Fuentes de infestación	Modalidad			
	Árboles confinados		Árboles sin confinar	
	Media	CV(%)	Media	CV(%)
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	10,6	33,2	12,10	35,51
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	5,6	42,7	7,6	39,75
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	18,4	28,8	13,24	25,30
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	2,0	45,6	3,36	43,71

Tabla 6. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación, por cada fuente de infestación, independientemente de la modalidad, al finalizar el tiempo de retención - cosecha de mitaca.

Fuentes de infestación	Mínimo observado	Máximo observado	Media	CV(%)
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	4,3	25,4	13,0 A	46,3
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	0,8	8,8	4,2 B	65,0
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	6,0	33,2	17,4 A	51,7
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	0,2	9,2	2,5 B	98,2

Tabla 7. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación, por cada fuente de infestación, independientemente de la modalidad, al finalizar el tiempo de retención - cosecha principal.

Fuentes de infestación	Mínimo observado	Máximo observado	Media	CV(%)
C1. Árboles con frutos perforados sólo en el árbol	3,7	17,3	11,5 B	34,1
C2. Árboles con frutos perforados sólo en el suelo	2,9	11,9	6,8 C	42,2
C3. Árboles con frutos perforados en el árbol y en el suelo	10,0	26,1	15,8 A	31,9
C4. Árboles sin frutos perforados en el árbol ni en el suelo	0,7	5,1	2,7 D	51,1

Tabla 8. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación por cada modalidad, independientemente de la circunstancia de infestación, al finalizar el tiempo de retención - cosecha de mitaca.

Modalidad	Mínimo observado	Máximo observado	Media	CV(%)
Árboles sin confinar	0,25	24,1	7,6 B	76,1
Árboles confinados	0,48	33,2	10,9 A	92,1

Letras no comunes implica diferencias entre promedios, según prueba de diferencia mínima significativa al 5%.

Tabla 9. Infestación media de los frutos causada por la broca (%) y coeficiente de variación por cada modalidad, independientemente de la circunstancia de infestación, al finalizar el tiempo de retención - cosecha principal.

Modalidad	Mínimo observado	Máximo observado	Media	CV(%)
Árboles sin confinar	0,7	19,2	9,1	55,2
Árboles confinados	1,2	26,1	9,3	79,2

Etapa 2. Evaluación del efecto de la retención del pase en la caída de frutos

El análisis de varianza mostró efecto de la condición, tanto con la variable número de frutos como el número de frutos con broca en el suelo, con una confiabilidad mayor del 95%,

indicando diferencias a favor del inicio de la retención (menor número de frutos caídos), según prueba de f al 5% (Tabla 10).

Con este resultado, queda evaluado el efecto de la retención del pase en la caída de frutos (mayor promedio de las variables de respuesta

al finalizar la retención), y se corroboró la hipótesis de investigación “con la retención

del pase se incrementa el número de frutos infestados en el plato del árbol”.

Tabla 10. Condición, promedio y error estándar para el número de frutos y frutos infestados por broca en el plato del árbol.

Condición	No. árboles	No. frutos en el suelo por árbol		No. frutos brocados en el suelo por árbol	
		Promedio	Error estándar	Promedio	Error estándar
Al inicio de la retención del pase	32	12	1	6	0,4
Al finalizar la retención del pase	32	41	4	12	1,1

Los resultados de las etapas 1 y 2 demuestran que, durante la retención de pases de cosecha por 35 días, las brocas que infestan los frutos maduros se originan de los frutos brocados que quedan después de las cosechas en el árbol y en el suelo del mismo árbol. Esto pudo probarse en los tratamientos donde se realizó la recolección de los frutos brocados del suelo y del árbol, porque los niveles de infestación no superaron el 5% de infestación en el árbol, tanto en los confinados como en aquellos sin confinar, durante las cosechas de mitaca y principal (Tablas 2 a la 7), mientras que en los árboles donde no se retiraron los frutos brocados, los niveles de infestación de broca se incrementaron por encima del nivel de daño económico (> 5%), llegando a niveles entre 26% y 33% de infestación en las cosechas principal y mitaca, respectivamente. Igualmente pudo determinarse que la retención de pases por 35 días ocasiona caída de frutos, incrementándose de 12 a 41 frutos por árbol (Tabla 10).

Etapla 3. Evaluación de prácticas de control de broca durante la retención de pases

El análisis de varianza, al inicio de las retenciones, no mostró efecto de tratamientos,

lo cual indica que todas las estrategias a evaluar tenían, en promedio, la misma infestación que el testigo absoluto (Tablas 11 y 12).

El análisis de varianza, con la infestación al finalizar las retenciones, mostró efecto de tratamientos, y la prueba de Tukey al 5% indicó diferencias a favor de las estrategias de control evaluadas (menor infestación), con respecto al testigo absoluto, de tal manera que, si no se hace algún control durante la retención de los frutos, el promedio de infestación puede estar entre el 22,8% y 29,0%, en las condiciones bajo las cuales se realizó el experimento (Tablas 11 y 12).

En la primera retención, con las estrategias evaluadas, se mantiene la infestación dada al inicio de la retención del pase; mientras que, en la segunda retención se incrementó la infestación, de acuerdo con la prueba de diferencia mínima significativa al 5% (para cada estrategia, comparando la infestación inicial y final).

De acuerdo con la prueba t al 5%, en la primera retención, la infestación final no superó el nivel de daño económico; mientras que, en la segunda, sólo el T1 no superó dicho nivel.

Con los resultados expuestos, se alcanzó el objetivo de esta investigación y fue corroborada la hipótesis de investigación “con la recolección de frutos del suelo al inicio de la retención del pase y la aplicación

del hongo *Beauveria bassiana* 2,0 g L⁻¹ de agua en el árbol y en el suelo, a los diez días después del inicio de la retención de pases, se mantiene la infestación por broca debajo del nivel de daño económico”.

Tabla 11. Infestación por broca en promedio y error estándar, por estrategia evaluada, al inicio y finalización de la primera retención.

Tratamiento	No. Unidad exp.	Inicio de la retención del pase		Finalización de la retención del pase	
		Media	Error estándar	Media	Error estándar
T1	15	3,3 A	0,6	3,6 B	0,7
T2	15	4,0 A	0,7	4,8 B	0,8
T3	15	5,0 A	0,6	5,4 B	0,6
T4	15	6,2 A	1,8	22,8 A	2,5

Tanto para el inicio como para la finalización de la retención del pase, letras no comunes implica diferencia entre promedios, según prueba de Tukey al 5%.

Tabla 12. Infestación por broca en promedio y error estándar, por estrategia evaluada, al inicio y finalización de la segunda retención.

Tratamiento	No. Unidad exp.	Inicio de la retención del pase		Finalización de la retención del pase	
		Media	Error estándar	Media	Error estándar
T1	15	3,5 A	0,8	6,4 B	1,1
T2	15	4,7 A	0,6	7,5 B	1,1
T3	15	5,1 A	0,6	8,6 B	1,2
T4	15	6,2 A	0,8	29,0 A	3,1

Letras no comunes implica diferencias entre promedio de tratamientos, según prueba de Tukey al 5%.



Figura 2. Canastilla utilizada para recoger frutos de café del suelo, que se quedan después de finalizadas las cosechas.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, indican que la mayor infestación por broca del café durante el tiempo de retención de pases de cosecha durante 35 días, proviene de los frutos infestados del mismo árbol; adicionalmente, pudo determinarse que frutos del árbol se caen al suelo durante este tiempo. Como consecuencia, la infestación por broca supera el nivel de daño económico cuando se retienen pases en cafetales que superan el 2,0% de infestación al inicio de la cosecha. Para contribuir con el control de la broca durante esta actividad de retención, se demostró que recolectar los frutos del suelo con canastilla al inicio de la retención y la posterior aplicación del hongo *Beauveria bassiana* dirigida a los frutos de los árboles y al suelo, diez días después, mantiene los niveles de broca por debajo del 5,0%. La importancia de hacer repases al finalizar las cosechas de café recogiendo los frutos brocados verdes, maduros, sobremaduros y secos del árbol y del suelo está bien documentado en otros estudios, donde las prácticas de control cultural fueron determinantes en mantener las poblaciones de broca por debajo del

nivel de daño económico (Bustillo et al., 1998, Constantino et al., 2017, Johnson et al., 2019). No realizar algún tipo de control significa obtener infestaciones superiores al 15% y hasta 33%.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración del auxiliar de la disciplina de Entomología Carlos Alberto Quintero, en el montaje de las jaulas y las parcelas experimentales. A Melsar Danilo Santamaría por el apoyo en el montaje de los experimentos en la Estación Experimental Naranjal y a los trabajadores de la Cooperativa The People Company por el apoyo en la toma de datos en el campo. Esta investigación fue realizada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia bajo el proyecto ENT107013.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

LMC; elaboración de la propuesta, montaje de los tratamientos, tabulación y toma de datos en campo y escritura del artículo. ECM: análisis

estadísticos. PB: conceptualización y diseño metodológico. HFA: establecimiento de parcelas en la Estación Experimental La Catalina y

evaluaciones de infestación de broca. JFT: establecimiento de parcelas en la EE Naranjal y evaluaciones de infestación de broca.

LITERATURA CITADA

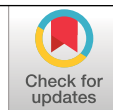
- Arcila, A. (2011). La floración, indicador del ataque de la broca. *Brocarta*, 44, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc044.pdf>
- Baker, P. (1984). Some aspects of the behaviour of the coffee berry borer in relation to its control in Southern México Coleoptera, Scolytidae. *Folia Entomológica Mexicana*, 61, 9–24.
- Benavides Machado, P. (2010). Evite la dispersión de la broca durante la recolección y el beneficio del café. *Brocarta*, 40, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc040.pdf>
- Benavides, P. (2012). El repase: actividad para el manejo de la broca del café en Colombia. *Brocarta*, 46, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc046.pdf>
- Benavides, P., Gongora, C., & Bustillo, A. (2012). IPM Program to Control Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei*, with Emphasis on Highly Pathogenic Mixed Strains of *Beauveria bassiana*, to Overcome Insecticide Resistance in Colombia. En F. Perveen (Ed.), *Insecticides—Advances in Integrated Pest Management* (pp. 511–540). InTech. <https://doi.org/10.5772/28740>
- Benavides, P., Gil-Palacio, Z., Constantino, L. M., Villegas García, C., & Giraldo-Jaramillo, M. (2013). Plagas del café: Broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y monalón. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 215–260). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0022_24
- Bustillo, A. E. (2002). El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. *Boletín Técnico Cenicafé*, 24, 1–40. <https://doi.org/10.38141/10781/024>
- Bustillo, A. E., Cárdenas, R., Villalba, D. A., Benavides, P., Orozco, J., Posada, F. J. (1998). *Manejo integrado de la broca del café Hypothenemus hampei (Ferrari) en Colombia*. Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/848>
- Cárdenas, R. (1988). *La broca del café Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867). *Agronomía*, 2(2), 08-11.
- Castaño, A., Benavides, P., & Baker, P. S. (2005). Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Revista Cenicafé*, 56(2), 142–150. <http://hdl.handle.net/10778/147>
- Constantino, L. M., Rendón, J. R., Cuesta, G., Medina-Rivera, R., & Benavides, P. (2021). Dinámica poblacional, dispersión y colonización de la broca del café *Hypothenemus hampei* en Colombia. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72102. <https://doi.org/10.38141/10778/72102>
- Constantino, L. M., Oliveros, C., Benavides, P., Serna, C. A., Ramírez, C. A., Medina, R. & Arcila, A. (2017). Dispositivo recolector de frutos de café del suelo para el manejo integrado de la broca. *Revista Cenicafé*, 68(1), 22–37. <http://hdl.handle.net/10778/813>
- Constantino, L. M. (2011). Impacto del repase en la cosecha principal de café. *Brocarta*, 50, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc050.pdf>
- Constantino, L. M., Gil, Z. N., Montoya, E. C., & Benavides, P. (2021). Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) Emergence from Ground Fruits Across Varying Altitudes and Climate Cycles, and the Effect on Coffee Tree Infestation. *Neotropical Entomology*, 50(3), 374–387. <https://doi.org/10.1007/s13744-021-00863-5>
- Gil, Z. N., Benavides, P., Souza, O. D., Acevedo, F. E., & Lima, E. (2015). Molecular markers as a method to evaluate the movement of *Hypothenemus hampei* (Ferrari). *Journal of Insect Science*, 15(1), 72. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iev058>
- Gil, Z. N., Constantino, L. M., & Benavides, P. (2021). Dispersión de la broca del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 53(1), 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0531>
- Giraldo, M., García, A. G., & Parra, J. R. (2018). Biology, Thermal Requirements, and Estimation of the Number of Generations of *Hypothenemus hampei* (Ferrari,

- 1867) (Coleoptera: Curculionidae) in the State of São Paulo, Brazil. *Journal of Economic Entomology*, *111*(5), 2192–2200. <https://doi.org/10.1093/jee/toy162>
- Giraldo, M., Montoya, E. C., Sarmiento-Herrera, N., Quiroga Mosquera, A., Espinosa-Osorio, J. C., García-López, J. C., Duque Orrego, H., & Benavides, P. (2019). Vulnerabilidad de la caficultura de Caldas a la broca del café en diferentes eventos climáticos. *Avances Técnicos Cenicafé*, *50*(5), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0505>
- Góngora, C.E. (2011). ¿Cómo usar el hongo *Beauveria bassiana* para proteger su cosecha de café?. *Brocarta*, *42*, 1–2. <https://www.cenicafe.org/es/publications/brc042.pdf>
- Góngora, C. E., Gil, Z. N., Constantino, L. M., & Benavides, P. (2023). Sustainable Strategies for the Control of Pests in Coffee Crops. *Agronomy*, *13*(12), 2940. <https://doi.org/10.3390/agronomy13122940>
- Johnson, M. A., Fortna, S., Hollingsworth, R. G., & Manoukis, N. C. (2019). Postharvest Population Reservoirs of Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae) on Hawai'i Island. *Journal of Economic Entomology*, *112*(6), 2833–2841. <https://doi.org/10.1093/jee/toz219>
- Molina, D., Moncada-Botero, M.-P., Cortina-Guerrero, H. A., & Benavides, P. (2022). Searching for a Coffee variety with antibiosis effect to *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Curculionidae). *Euphytica*, *218*(7), 97. <https://doi.org/10.1007/s10681-022-03047-3>
- Montoya, E. C. (1999). Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, *50*(4), 245–258. <http://hdl.handle.net/10778/4332>
- Ramírez-Builes, V.H., Gaitán, A., Benavides, P., Constantino, L. M., Sadeghian, S., & González-Osorio, H. (2014). Recomendaciones para la reducción del riesgo en la caficultura de Colombia ante un evento climático de El Niño. *Avances Técnicos Cenicafé*, *44*(5), 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0445>
- Sanz, J. R., Duque Orrego, H., Menza, H. D., Zamudio, G. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Ramírez, C. A. (2018). Lonas para asistir la cosecha manual de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, *48*(7), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0487>
- Sanz, J. R., Oliveros, C. E., Duque, H., Mejía, C. G., Benavides, P., & Medina, R. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, *48*(8), 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>

DISTRIBUCIÓN Y TENDENCIAS DE LAS LLUVIAS HORARIAS EN LA REGIÓN CAFETERA DEL NORESTE DE SUR AMÉRICA

Carolina Ramírez Carabalí *, Ninibeth Gibelli Sarmiento Herrera *, Juan Carlos García López *

Ramírez-Carabalí, C., Sarmiento-Herrera, N., & García-López, J. C. (2024). Distribución y tendencias de las lluvias horarias en la región cafetera del Noreste de Sur América. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75103. <https://doi.org/10.38141/10778/75103>



Se analizaron los datos de lluvias horarias, de estaciones meteorológicas de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, ubicadas en la región cafetera del Noreste de Sur América, para determinar el número promedio de horas de lluvia en un año, la ocurrencia de lluvias en el día y las tendencias en la cantidad de lluvia horaria máxima entre 1980 y 2019. Se utilizaron pruebas de tendencia: Mann Kendall (MK) y análisis de tendencias innovadoras (ITA). En promedio anual, son 919 horas las que aportan lluvias. Las lluvias máximas en 1 hora se encuentran principalmente en las categorías moderada fuerte y fuerte (20 a 60 mm h⁻¹), y la tendencia es en mayor proporción creciente sin significancia estadística. Con base en ITA, las lluvias máximas en 1 hora están aumentando en las estaciones Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero (Norte de Santander), La Catalina (Risaralda), Julio Fernández (Valle del Cauca) y Jorge Villamil (Huila); y disminuyendo en Granja Tibacuy (Cundinamarca) y Albán (Valle del Cauca). No se encontró un patrón espacial para las tendencias, pero sí se identificó que el número de eventos de lluvia de diferentes intensidades aumentó en la mayoría de estaciones, resaltando Pueblo Bello, Santágueda (Caldas) y Manuel Mejía (Cauca) en las que la tendencia en todas sus categorías de lluvia fue creciente, contrastante con Julio Fernández, donde fue decreciente. Con estos resultados se caracteriza y actualiza el estudio de distribución de la lluvia horaria en la región en mención y se identifican las tendencias de la lluvia máxima horaria y del número de eventos de lluvia.

Palabras clave: Lluvia horaria, ciclo diurno, análisis de tendencias innovadoras, Mann Kendall, café, Cenicafé, Colombia.

DISTRIBUTION AND TRENDS OF HOURLY RAINFALL IN THE COFFEE-GROWING REGION OF NORTHEAST SOUTH AMERICA

Hourly precipitation data from meteorological stations of the National Federation of Coffee Growers of Colombia, located in coffee-producing regions of northeastern South America, were analyzed to determine trends in annual average precipitation hours, daytime precipitation, and maximum hourly precipitation between 1980 and 2019. Trend tests used include the Mann-Kendall (MK) test and Innovative Trend Analysis (ITA). On an annual average, there are 919 hours of rainfall. Maximum rainfall within one hour is mainly in the moderate to strong and strong categories (20 to 60 mm/h), with the trend predominantly increasing without statistical significance. Based on ITA, maximum hourly rainfall is increasing at the stations Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero (Norte de Santander), La Catalina (Risaralda), Julio Fernández (Valle del Cauca), and Jorge Villamil (Huila); and decreasing at Granja Tibacuy (Cundinamarca) and Albán (Valle del Cauca). Although no spatial pattern of these trends was found, it was noted that the number of rainfall events of different intensities has increased in most stations: in Pueblo Bello, Santágueda (Caldas) and Manuel Mejía (Cauca) an increasing trend was observed in all precipitation categories, while in Julio Fernández it was a decreasing trend. These results characterize and update the study of hourly rainfall distribution in the mentioned region and identify trends in maximum hourly rainfall and the number of rainfall events.

Keywords: Hourly rainfall, diurnal cycle, innovative trend analysis, Mann-Kendall, coffee, Cenicafé, Colombia.

Investigador Científico I, Asistente de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Disciplina de Agroclimatología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0001-8300-2623>, <https://orcid.org/0000-0002-7912-5708>, <https://orcid.org/0000-0003-4861-9649>



En el Noreste de Sur América, específicamente en Colombia, el cultivo de café se ha establecido principalmente sobre las montañas de la cordillera de los Andes, por lo que las lluvias, a menudo producidas por eventos convectivos que se ven afectados por interacciones complejas entre la dinámica de mesoescala, los procesos microfísicos de las nubes y el forzamiento de la superficie subyacente (Wu et al., 2019), mantienen condiciones de humedad prolongada en el ambiente y los suelos, aumentando las condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades asociadas a alta humedad y el riesgo de erosión, dificultando el acceso a las fincas cafeteras y la comercialización de los productos, arriesgando el sustento y la vida de las familias caficultoras.

En los últimos 22 años, son recordados varios acontecimientos desastrosos a causa de las lluvias intensas ocurridas generalmente bajo la fase fría del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS), uno de ellos, en el municipio de Gramalote (Norte de Santander) en el año 2010, donde toda una comunidad, incluyendo la cafetera, tuvo que ser evacuada debido a deslizamientos de tierra y un proceso de remoción de masa, acompañado por un temblor, que destruyó totalmente el municipio; y otro en Mocoa (Putumayo), donde llovió durante tres horas un promedio del 40% lo que normalmente llueve en un mes, sumado con la acumulación de 600 mm de lluvia en 38 días (García-Delgado et al., 2019), lo que causó desbordamiento de ríos y quebradas, resultando afectadas viviendas y predios, vías terciarias y cultivos. La situación ocurrida entre agosto de 2020 y enero de 2023 no fue inesperada, debido a que desde 1950 se han presentado 17 eventos La Niña, aunque solo cinco con continuidad en tres años (Huang et al., 2017), por lo que es posible que las lluvias horarias extremas se hayan intensificado bajo este evento.

El sexto informe de evaluación de Cambio Climático proporciona una evidencia sobre el aumento observado en la frecuencia y la cantidad de fuertes lluvias ($>50 \text{ mm día}^{-1}$) en muchas zonas del mundo (Masson-Delmotte et al., 2021; Seneviratne et al., 2021). Particularmente en la región tropical, los datos y la literatura son limitados, por lo que no hay un tipo de cambio observado.

Resulta trascendental conocer la información de las lluvias horarias, dado que determinan la disposición de la lluvia que llega al suelo y lo que escurre (Trenberth et al., 2003) y, son insumo para preparar las estrategias en la gestión del riesgo e identificar su impacto sociocultural y económico en los territorios. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) clasifica la intensidad de la lluvia en una hora en cinco categorías que comprenden, desde lluvias ligeras ($0,1$ a $10,0 \text{ mm h}^{-1}$) hasta lluvias torrenciales ($> 60 \text{ mm h}^{-1}$) (IDEAM, s. f.).

Conocer la variabilidad espacial y temporal de los eventos de lluvia, es fundamental en la gestión del desarrollo urbano y rural, la infraestructura pública, la agricultura y la salud humana (Beguiría & Lorente, 2002; Hatfield et al., 2011; Zwiers et al., 2013). Debido a su alto impacto en la sociedad, se han llevado a cabo investigaciones para caracterizar las lluvias horarias en algunas ciudades y regiones colombianas, intentando captar los principales procesos dinámicos de la atmósfera y su relación con la topografía (Bedoya-Soto et al., 2019; Gómez Blanco, 2010; Poveda et al., 2005; Suárez-Cobian, 1959; Trojer, 1958, 1959) y, detectar tendencias en las lluvias diarias y anuales en el territorio colombiano, utilizando procedimientos como la prueba de Mann Kendall (MK) y la pendiente de Sen (Ávila et al., 2019; Cerón et al., 2022; Mesa

et al., 2021; Morales-Acuña et al., 2021), el análisis empírico de funciones ortogonales de tendencias (TEOF) (Cerón et al., 2022), la transformada de wavelet discreta (DWT) (Correa Ortiz et al., 2021) y la prueba de Mann Whitney Wilcoxon (MWW) (Giraldo-Osorio et al., 2022), encontrando que hay una respuesta diferente en los eventos de lluvia en el territorio colombiano y dependiendo de la prueba utilizada, pueden encontrarse patrones de tendencia espacialmente coherentes. En general, son mayores los resultados con tendencias no significativas.

En la mayoría de estudios se evidencia un uso generalizado de las pruebas no paramétricas, especialmente la prueba MK, ya que son más apropiadas para detectar tendencias en datos de series temporales hidrometeorológicas; sin embargo, para su validez, requieren independencia de la serie de tiempo y la normalidad de la distribución (Kendall, 1948; Mann, 1945). Una de las pruebas que está siendo utilizada por investigadores de diversos países (Alifujiang et al., 2020; Nisansala et al., 2020; Seenu & Jayakumar, 2021; H. Wu & Qian, 2017) y que fue catalogada por el Journal of Hydrologic Engineering como la mejor nota técnica en el 2014, es el Análisis de Tendencias Innovadoras (ITA) (Şen, 2012), que permite identificar visualmente la tendencia de la lluvia de acuerdo a la clasificación categórica. Hasta la fecha, no hay un estudio que analice las tendencias en las lluvias horarias en la región cafetera colombiana y no se ha publicado algún estudio que aplique la prueba ITA en datos hidrometeorológicos en Colombia.

La producción del café en Colombia depende de la disponibilidad de agua proveniente de las lluvias, por lo tanto, la revisión de las tendencias de las lluvias máximas horarias y del número de eventos de lluvia es necesaria para evaluar los posibles

cambios en las expresiones fenológicas asociadas a floraciones, crecimiento y rendimiento del cultivo del café. En los últimos tres años, entre agosto de 2020 y enero de 2023, la mayor parte de las regiones cafeteras colombianas estuvieron influenciadas por condiciones de alta pluviosidad, en la que el número de eventos y la cantidad de lluvia se incrementó y fue parte de las causas de la disminución de la producción nacional en 2021 y 2022 (Federación Nacional de Cafeteros, s. f.).

Por la anterior razón, este estudio tuvo dos objetivos. El primero fue determinar la cantidad de horas que contribuyen a la lluvia anual y la distribución de la lluvia horaria junto con la tendencia en la frecuencia en las distintas categorías de lluvia, y el segundo analizar la tendencia de la lluvia máxima para duraciones de 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas, de 59 estaciones ubicadas en la región cafetera colombiana, utilizando las pruebas de tendencias MK e ITA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la información de lluvia horaria correspondiente a 59 estaciones meteorológicas convencionales de la Red Climática Cafetera de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, que tienen registros pluviográficos con 40 años en promedio, pero contando con estaciones de mínimo 12 hasta 69 años de información. Las estaciones tienen un rango altitudinal desde 775 m hasta 2.120 m, y latitudinal que va desde 01°37'N hasta 10°48' N, abarcando las regiones cafeteras Norte (7 a 10°LN), Centro (3 a 7° LN) y Sur (1 a 3° LN) de Colombia (Figura 1).

Se construyeron tres series, la primera consistió en la información de lluvia horaria desde el inicio hasta el final de la serie, la segunda en las lluvias máximas de 1, 2, 4,

6, 12 y 24 horas de duración para cada año desde 1980 hasta 2019, y la tercera en la cantidad de eventos por año, desde 1980 hasta 2019, de acuerdo a la clasificación de lluvia horaria sugerida por el Ideam: lluvias ligeras (L) (0,1 a 10,0 mm h⁻¹), ligeras moderadas (LM) (10,1 a 20,0 mm h⁻¹), moderadas fuertes (MF) (20,1 a 40,0 mm h⁻¹), fuertes (F) (40,1 a 60,0 mm h⁻¹) y torrenciales (T) (> 60,0 mm h⁻¹) (IDEAM, s. f.).

Control de calidad

Los registros pluviográficos se contrastaron con los registros pluviométricos, dado que operan en paralelo los instrumentos pluviógrafo con pluviómetro. Se validó que la diferencia entre las lecturas de los dos equipos no superara el 10%. Se aplicaron pruebas de coherencia interna y pruebas de coherencia espacial para la detección y limpieza de datos erróneos y la validación de valores extremos.

Para cada estación se evaluó el porcentaje de datos faltantes por cada año de la serie. Se seleccionaron los años de las series que tuvieran registros horarios completos (8.760 horas). De las 59 estaciones del estudio, en 40 se descartaron dos años con información faltante, mientras que en el resto solo se descartó un año.

Número de horas con lluvia y distribución de la lluvia horaria

La serie de lluvia horaria se analizó para contar y promediar el número de horas de lluvia dentro de cada categoría y para cada región cafetera.

Para cada jornada del ciclo diurno (mañana 7 - 12 horas, tarde 13 - 18 horas, noche 19 - 24 horas y madrugada 1 - 6 horas) se identificó la ocurrencia de lluvia y se convirtió en porcentaje como se presenta en la Ecuación <1>:

$$\begin{aligned} \text{Si } R_{h,m,y} &\geq 0,1 \text{ mm} \rightarrow OR_{h,m,y} = 1 \\ \text{Si } R_{h,m,y} &< 0,1 \text{ mm} \rightarrow OR_{h,m,y} = 0 \\ OD_h (\%) &= \frac{\sum_{y=1}^{n_y} \sum_{m=1}^{12} \sum_{d=1}^{n_d} OR_{h,d,m,y}}{n_{h,d,m,y}} \times 100 <1> \end{aligned}$$

Donde $R_{h,m,y}$ es la lluvia (mm h⁻¹) de una específica hora del día (h=1, 2, ..., 24) de un mes (m=1 a 12) y año (y= 1, ..., n_y); OD_h (%) es la ocurrencia de lluvia.

Además, se determinó la jornada con mayor ocurrencia de lluvias ≥ 20 (mm h⁻¹) en cada estación, dato que abarca desde lluvias moderadas fuertes hasta torrenciales (Ecuación <2>).

$$\begin{aligned} \text{Si } R_{h,m,y} &\geq 20 \text{ mm} \rightarrow ORft_{h,m,y} = 1 \\ \text{Si } R_{h,m,y} &< 20 \text{ mm} \rightarrow ORft_{h,m,y} = 0 \\ ODft_h (\%) &= \frac{\sum_{y=1}^{n_y} \sum_{m=1}^{12} \sum_{d=1}^{n_d} ORft_{h,d,m,y}}{n_{h,d,m,y}} \times 100 <2> \end{aligned}$$

Detección de tendencias

Cantidad de lluvia máxima horaria y Cantidad de eventos de lluvia en 1,0 hora

Prueba Mann Kendall. Se aplicó la prueba Mann Kendall (Kendall, 1948; Mann, 1945) por medio del paquete “Kendall” (McLeod, 2022), a 28 estaciones con series de tiempo desde 1980 hasta 2019, de lluvia máxima horaria (1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas de duración) y de cantidad de eventos de lluvia horaria clasificada de acuerdo al Ideam, para cada una de las estaciones, con el fin de evaluar estadísticamente la existencia de una tendencia monotonía ascendente o descendente, lo que significa que la variable evaluada aumenta o disminuye en el tiempo. Para este análisis se asumió un nivel de significancia de 0,05. Se obtuvo el

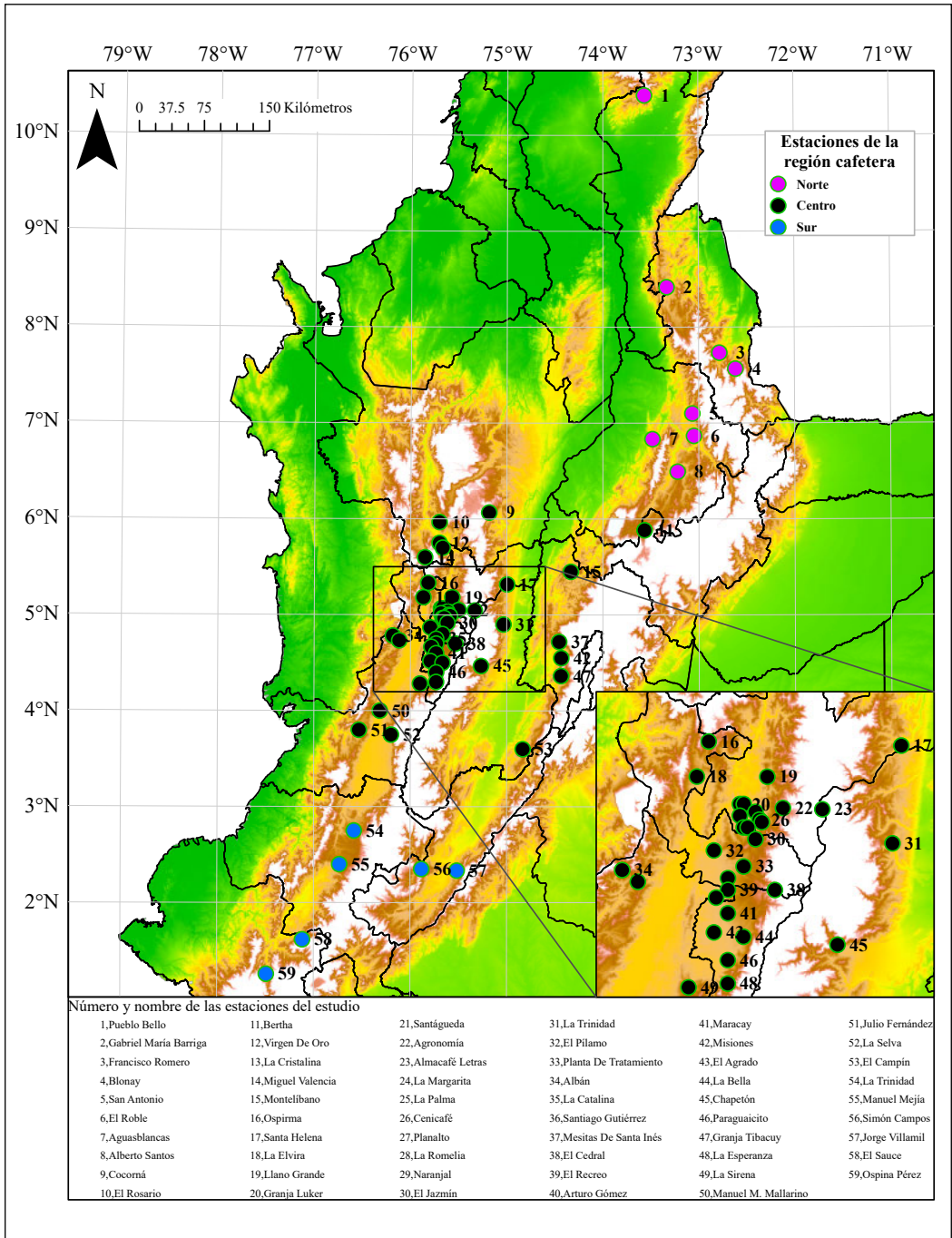


Figura 1. Estaciones meteorológicas del estudio.

estadístico Z (distribución normal estándar inversa de los datos) y U (Cuantil $1 - \alpha/2$), necesarios para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula. La hipótesis nula en la prueba de tendencia de Mann-Kendall es que no hay tendencia en los datos. La hipótesis nula se rechazó cuando $|Z| > U$.

Análisis de tendencias Innovadoras (ITA) e índice de tendencia parcial (PTM). Para complementar el análisis de tendencias, se incluyó la metodología de Şen (2012), con el fin de determinar para 28 estaciones, en las series de datos (1980 – 2019), las tendencias de lluvia máxima en precipitaciones de duración de 1,0 hora y de cantidad de eventos de lluvia horaria clasificada de acuerdo al Ideam. Este análisis solo se realizó para precipitaciones máximas de duración de 1,0 hora, dados los peligros que ocasionan, como inundaciones repentinas y deslizamientos de tierra que afectan a las poblaciones, daños a cultivos e infraestructura.

La serie de cada estación se dividió en dos mitades iguales, generando dos subseries: de 1980 – 1999 la primera mitad de la serie y de 2000 – 2019 la segunda mitad de la serie. Cada subserie se ordenó en forma ascendente y se graficó en el eje x la primera mitad y en el eje y la segunda mitad.

El gráfico permitió clasificar la lluvia máxima en 1,0 hora (ligera, ligera moderada, moderada fuerte, fuerte y torrencial). Se dibujaron tres líneas, una línea recta de 45° y dos líneas de error de $\pm 10\%$. Si la mayoría de los puntos de la serie se ubicaba sobre la línea de 45° o dentro de $\pm 10\%$, indicaba que no hay tendencia en la serie; pero si la dispersión de puntos estaba por encima o por debajo de la línea $\pm 10\%$ significaba una tendencia creciente o decreciente significativa (Figura 2).

Para cada estación se calculó el porcentaje de eventos para cada categoría, teniendo en

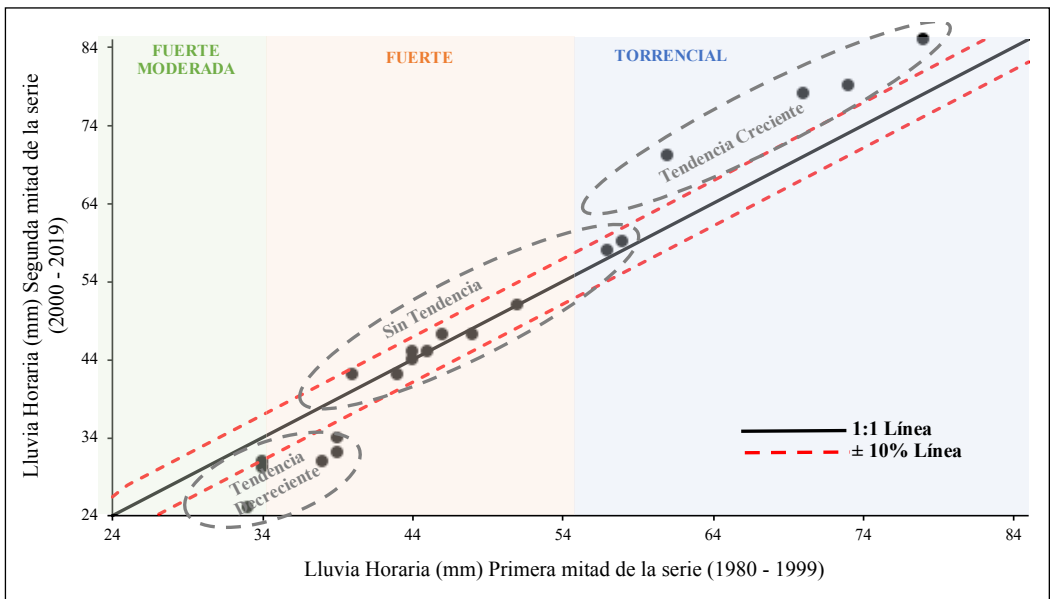


Figura 2. Ejemplo del método gráfico del análisis de tendencias innovadoras (ITA).

cuenta toda la serie, y se identificó el porcentaje de eventos de cada categoría que exhibieron tendencia concreta con respecto a la primera mitad de la serie.

Adicionalmente, se calculó la tendencia general, aplicando el índice de tendencia parcial (PTM) establecido por Wu y Qian (2017), de acuerdo con la Ecuación <3>

$$PTM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PTM_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(y_i - x_i)}{\bar{x}} \quad <3>$$

Donde, *PTM* es el índice de tendencia general en la serie y *n* es el número de registros de una subserie, *x* que en nuestro caso fue de 20; *x_i* y *y_i* son los valores de la primera y segunda subserie; \bar{x} es el promedio de *x_i*, es decir, de la primera mitad de la serie; 10 es un coeficiente para que el índice PTM alcance una escala similar a la prueba MK. Si el índice da como resultado un valor positivo (negativo) indica una tendencia creciente (decreciente). Teniendo como referencia la metodología de Wu y Qian (2017) para probar los niveles de significancia, se identificaron los intervalos de confianza, calculados mediante el método de arranque no paramétrico (Efron & Tibshirani, 1994), utilizando la librería *nptest* (Helwig, 2023) de R, con 9.999 repeticiones y un nivel de significancia del 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de horas de lluvia que contribuyen a las lluvias de la región cafetera colombiana

Se caracterizó la lluvia horaria promedio anual en las diferentes zonas de la región cafetera colombiana (Figura 3). En años no bisiestos se clasificaron 8.760 horas anuales y en años bisiestos 8.784 horas. El promedio de horas secas (0 mm) en la región cafetera

es de 7.841, pero la región Norte cafetera se caracteriza por presentar más horas con esta condición en comparación con las regiones Central y Sur. Las lluvias ligeras de 0,1 a 10,0 mm, corresponden al 58% de la lluvia total anual, con un promedio de 884 horas anuales, destacándose las regiones Central y Sur por presentar un mayor número de horas bajo esta condición, en contraste con la región Norte. La cantidad de horas con lluvias Ligeras Moderadas de 10,1 a 20,0 mm, son en promedio 28,20% de la cantidad de lluvia anual, sin embargo, el promedio de horas en la región Central es de 35, aunque su límite superior llega hasta 47 horas. Con respecto a las lluvias Moderadas Fuertes, concernientes al 14% de la lluvia anual, se presentan en promedio diez horas al año, donde se resalta la región cafetera Central por presentar un mayor promedio que las regiones Norte y Sur. Finalmente, las lluvias Fuertes y Torrenciales son menos frecuentes al año con respecto al resto de categorías, y ambas aportan el 4% de la cantidad de lluvia anual. Anualmente, en la región Cafetera pueden presentarse en promedio dos eventos fuertes y un evento torrencial. La región Norte ha presentado hasta nueve eventos fuertes y tres torrenciales en un año, por lo que supera en promedio al resto de las regiones en estas categorías de lluvia.

Los resultados brindan una actualización del total de horas de lluvia en el año en la región cafetera, que fue previamente determinado por Suárez (1974), durante 1961 – 1970. En comparación, en promedio en la región Norte, específicamente para las estaciones Pueblo Bello (Cesar), Francisco Romero y Blonay (Norte de Santander), hay una diferencia de 187, 298 y 319 horas más en promedio con lluvia. En la región Central, hay un aumento hasta del 42% con respecto a lo reportado por Suárez.

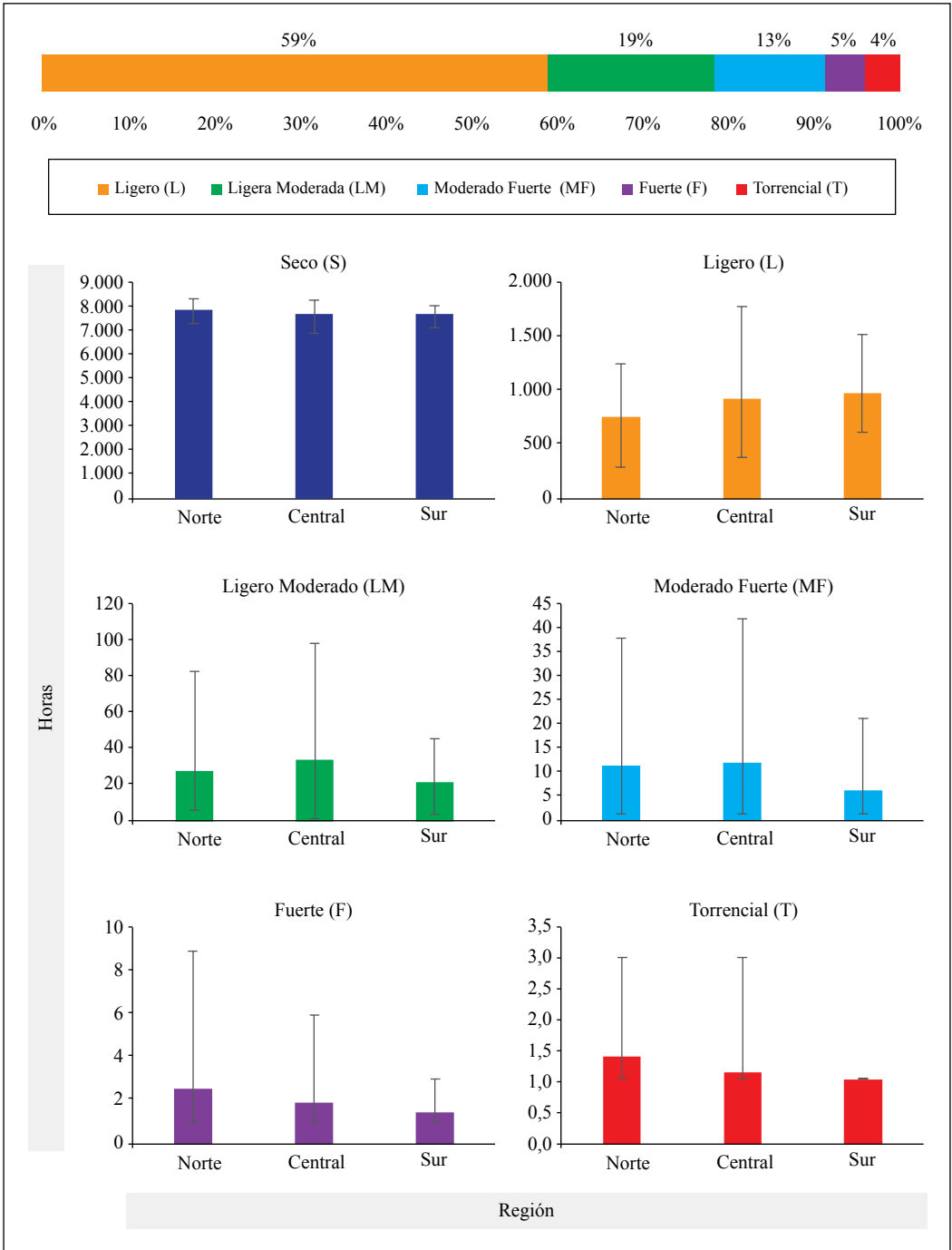


Figura 3. Cantidad de horas promedio anuales en las regiones cafeteras colombianas. Las barras representan el mínimo y máximo valor presentado en la serie analizada.

Distribución de la lluvia horaria

El porcentaje de ocurrencia de lluvia y la jornada con mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹, se presentan en la Tabla 1.

Región Cafetera Norte. En las estaciones de la región Norte, ubicadas sobre la Sierra Nevada de Santa Marta y la cordillera Oriental, entre 6,5° LN y 11,0° LN ocurren lluvias con mayor frecuencia en las noches. Específicamente en Pueblo Bello (Cesar), Blonay (Norte de Santander) y San Antonio (Santander) la ocurrencia de lluvias es mayor en horas de la tarde, sin embargo, en San Antonio las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ se presentan en la madrugada. En Gabriel María Barriga (Norte de Santander), El Roble y Aguasblancas (Santander), la proporción de ocurrencia de lluvias es similar o mayor en la madrugada. En Francisco Romero (Norte de Santander), particularmente una de las estaciones con los mayores registros de lluvia a nivel horario y diario (Jaramillo, 2005, 2018; Jaramillo & Kogson, 1994; Suárez, 1947, 1975), y en Alberto Santos (Santander), hay una mayor ocurrencia de las lluvias en la noche, en la que también se presentan con mayor frecuencia las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹.

Región Cafetera Central. Para las estaciones ubicadas sobre la cordillera Oriental – vertiente Occidental, no hay un patrón claro generalizado de la ocurrencia de las lluvias. Por ejemplo, en Bertha (Boyacá) y Montelíbano (Cundinamarca), la mayor ocurrencia de las lluvias es en la noche, al igual que las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹. En Mesitas de Santa Inés, Misiones y Granja Tibacuy (Cundinamarca) se presentan las lluvias con más frecuencia en la tarde y madrugada.

En el costado Oriental de la cordillera Central se analizaron seis estaciones, las cuales por su ubicación en diferentes latitudes

presentan diferencias en el ciclo diurno de la lluvia, sin embargo, predominan las lluvias en la madrugada. En Cocorná (Antioquia) y Santa Helena (Caldas), localizadas en un rango altitudinal similar, las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ ocurren con mayor frecuencia en horas de la noche. Almacafé Letras (Caldas) es especial, por la altitud en la que se encuentra, la mayor frecuencia de lluvias es en la tarde, pero la mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ ha sido en las noches.

Analizando las estaciones de la vertiente Occidental de la cordillera Central, a partir de los 3,0° de LN hasta los 4,8° LN, hay una mayor ocurrencia de lluvias en la tarde y en la madrugada, y las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ se presentan principalmente en la tarde. En el Cedral (Risaralda) y La Selva (Valle del Cauca), quizás por su ubicación altitudinal, por encima de 1.800 m, la mayor ocurrencia de lluvia es en la tarde. A partir de los 4,8° de LN hasta los 5,9° de LN, las lluvias son más frecuentes en horas de la noche y madrugada, principalmente en altitudes entre 1.000 y 1.700 m. En la estación Agronomía (Caldas), con altitud superior, la ocurrencia de lluvia es en la tarde. En general, se observa que estaciones por encima de los 1.800 m presentan una mayor ocurrencia de las lluvias en horas de la tarde. Delgado et al. (2020) encontraron el mismo comportamiento para estaciones ubicadas en Manizales (Caldas), con altitud superior a 1.915 m. Por su parte, Poveda et al. (2005) en su estudio, señalaron que si bien la topografía juega un papel importante en la determinación de los ciclos diurnos, no hay evidencia de una relación entre el momento de la lluvia máxima diurna con la elevación y la vertiente de las cordilleras, a excepción de algunas estaciones dentro de los valles de los ríos Magdalena y Cauca.

En las estaciones ubicadas sobre la vertiente Oriental de la cordillera Occidental,

se evidencia una mayor ocurrencia de las lluvias en las horas de la noche y madrugada, aunque en mayor proporción en esta última. En las estaciones Miguel Valencia (Antioquia), Santiago Gutiérrez, Manuel M. Mallarino y Julio Fernández (Valle del Cauca), es diferente, la lluvia ocurre casi en igual proporción en la tarde y madrugada. Con base en los resultados de este estudio, la ubicación latitudinal sí tiene un efecto sobre el momento en el que se presentan las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹, en horas de la tarde en las latitudes menores a 5,3° LN y en las noches en las latitudes mayores a esta. Esto no quiere decir que la distribución de la lluvia horaria y el máximo en el que se presentan las lluvias >20 mm h⁻¹ solo pueda ser explicado por su ubicación geográfica y altitudinal, sino que resulta de una combinación de condiciones ambientales locales y de gran escala, como lo han señalado Bedoya-Soto et al. (2019), Mapes, Warner, & Xu (2003), Mapes et al. (2003), Poveda et al. (2005), Suárez-Cobian (1959) y Trojer (1958).

La bimodalidad del ciclo diurno promedio fue encontrada en 18 estaciones de la región Central cafetera, principalmente en las ubicadas en la cuenca del río Cauca. Trojer (1958, 1959) encontró el mismo comportamiento del ciclo diurno para algunas estaciones de este estudio, atribuyéndolo a la doble circulación local por efecto de olas de aire frío, muy destacadas en las zonas húmedas montañosas donde predomina durante el año la inestabilidad de las masas de aire. Particularmente las estaciones Mesitas de Santa Inés (Cundinamarca), El Cedral (Risaralda) y Julio Fernández (Valle del Cauca), sin relación en altitud y ubicación, son las que han presentado lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ en horas de la tarde.

Región Cafetera Sur. Las estaciones ubicadas por debajo de los 3° LN, en la cordillera Central – vertiente Occidental, muestran una

mayor ocurrencia de las lluvias en la tarde, con excepción de la estación Ospina Pérez (Nariño), donde se presentan en la noche. Coincide el momento en que ocurren las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ con la mayor ocurrencia de lluvias.

En el caso de las estaciones ubicadas en las laderas del valle del río Magdalena, Jorge Villamil (Huila) en la cordillera Oriental – vertiente Occidental, se observó que presenta sus lluvias con más frecuencia en la tarde, mientras que en Simón Campos (Huila) se presentan en la madrugada.

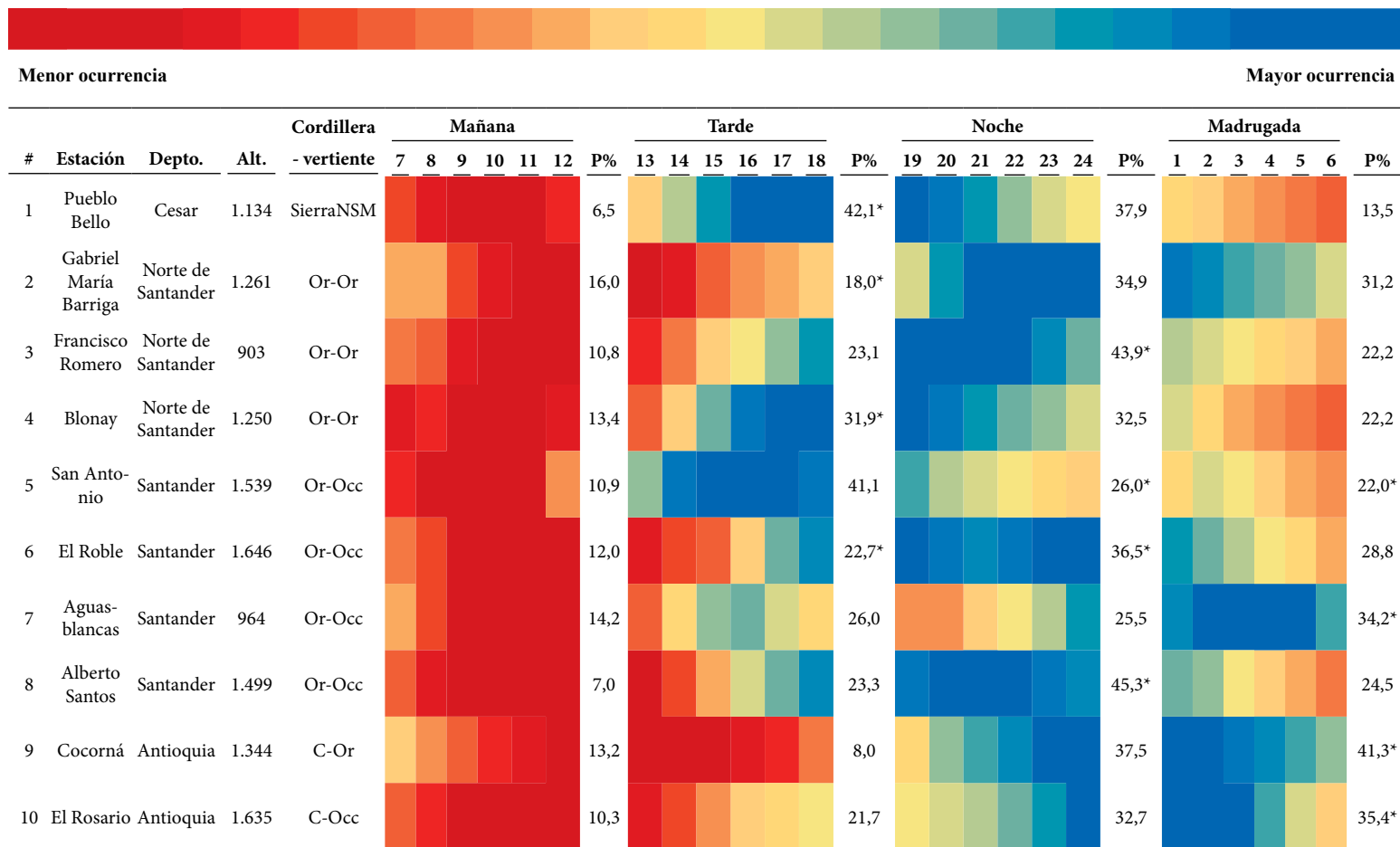
El clima de esta región está determinado principalmente por la influencia de las circulaciones intertropicales (vientos del Sur), que llega al gran macizo colombiano y hace que se presenten áreas con condiciones muy específicas (Suárez, 1974).

Se revisaron en conjunto las regiones cafeteras y se observó que tres estaciones ubicadas sobre la cordillera Central – vertiente Oriental (Chapetón y La Trinidad en Tolima, y Simón Campos en Huila), por debajo de los 5° LN, también presentan una ocurrencia significativa de lluvias en el horario de la mañana.

Considerando el comportamiento descrito para las regiones cafeteras, puede concluirse que es menor la ocurrencia de la lluvia en el horario de la mañana, principalmente en Pueblo Bello ubicada sobre la Sierra Nevada de Santa Marta y en las estaciones Alberto Santos y Bertha, ubicadas sobre la Oriental–vertiente Occidental.

En general, la predominancia de las lluvias mayores a 20 mm h⁻¹ en la mayoría de estaciones de la región cafetera es en la tarde, atribuido a un mayor contraste térmico en ese horario (Trojer, 1959).

Tabla 1. Distribución de la lluvia horaria en la región cafetera colombiana y jornada con mayor ocurrencia de lluvias >20 mm h⁻¹. La jornada con mayor ocurrencia de lluvia >20 mm h⁻¹ está representada por un asterisco (*) al lado del porcentaje de ocurrencia.



Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						Tarde						Noche						Madrugada									
					7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6	P%
11	Bertha	Boyacá	1.677	Or-Occ	[Red]						5,3	[Orange, Green, Blue]						35,0	[Blue, Green]						42,0*	[Yellow, Orange, Red]						17,7
12	Virgen De Oro	Antioquia	1.656	Occ-Or	[Orange, Red]						11,7	[Red, Orange]						9,8	[Orange, Green, Blue]						35,4	[Blue, Green]						43,1*
13	La Cristalina	Antioquia	775	Occ-Or	[Yellow, Orange, Red]						10,0	[Orange, Green, Blue]						7,6	[Orange, Green, Blue]						36,3	[Blue, Green]						46,1*
14	Miguel Valencia	Antioquia	1.621	Occ-Or	[Orange, Red]						11,8	[Orange, Green, Blue]						28,8	[Orange, Green, Blue]						27,3	[Blue, Green]						32,0
15	Montelíbano	Cundinamarca	1.365	Or-Occ	[Red]						9,8	[Red, Orange, Yellow, Blue]						24,3	[Blue, Green]						36,6*	[Blue, Green, Yellow, Orange]						29,3
16	Ospirma	Risaralda	1.661	Occ-Or	[Green, Orange, Red]						15,8	[Orange, Green, Yellow, Blue]						21,5	[Orange, Green, Yellow, Blue]						24,2	[Blue, Green]						38,5*
17	Santa Helena	Caldas	1.395	C-Or	[Green, Yellow, Orange, Red]						20,8	[Red, Orange]						5,4	[Orange, Green, Blue]						27,2	[Blue, Green]						46,6*
18	Llano Grande	Caldas	1.414	C-Occ	[Orange, Red]						14,0	[Red, Orange, Yellow, Blue]						19,7	[Yellow, Green, Blue]						27,5	[Blue, Green]						38,9*
19	La Elvira	Risaralda	1.540	Occ-Or	[Green, Orange, Red]						18,2	[Red, Orange, Yellow, Blue]						19,1	[Orange, Green, Blue]						23,1	[Blue, Green]						39,6*
20	Santágueda	Caldas	1.026	C-Occ	[Green, Yellow, Orange, Red]						14,1	[Red, Orange, Yellow, Blue]						13,0	[Yellow, Green, Blue]						27,2	[Blue, Green]						45,8*
21	Granja Luker	Caldas	1.031	C-Occ	[Green, Yellow, Orange, Red]						14,3	[Red, Orange, Yellow, Blue]						12,6	[Orange, Green, Blue]						26,5	[Blue, Green]						46,6*
22	Agronomía	Caldas	2.088	C-Occ	[Orange, Red]						12,2	[Green, Blue]						37,0*	[Orange, Green, Blue]						23,0	[Green, Yellow, Orange]						27,8
23	Almacafé Letras	Caldas	3.684	C-Or	[Red]						14,6	[Green, Blue]						34,6*	[Yellow, Green, Blue]						27,4	[Green, Yellow, Orange, Red]						23,4

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						Tarde						Noche						Madrugada									
					7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6	P%
24	La Margarita	Caldas	1.436	C-Occ							12,0							20,1							27,4							40,4*
25	La Palma	Caldas	1.165	C-Occ							15,5							17,1							24,7							42,7*
26	Cenicafé	Caldas	1.310	C-Occ							14,2							22,6							23,8							39,4*
27	Planalto	Caldas	1.413	C-Occ							14,0							22,7							24,3							39,0*
28	La Romelia	Caldas	1.335	C-Occ							14,4							21,3							23,4							40,9*
29	Naranjal	Caldas	1.381	C-Occ							14,2							21,7							23,6							40,6*
30	El Jazmín	Risaralda	1.635	C-Occ							14,2							31,4							21,3							33,1
31	La Trinidad	Tolima	1.456	C-Or							24,0							11,7							21,0							43,3*
32	El Pilamo	Risaralda	1.113	C-Occ							15,3							20,2							26,8							37,7*
33	Planta De Tratamiento	Risaralda	1.487	C-Occ							13,8							35,3*							23,2							27,7
34	Albán	Valle del Cauca	1.510	Occ-Occ							16,7							28,5*							26,3							28,4
35	La Catalina	Risaralda	1.321	C-Occ							13,8							28,4							26,4*							31,4
36	Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	1.530	Occ-Or							17,8							27,0*							26,2							28,9

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera - vertiente	Mañana						Tarde						Noche						Madrugada								
					7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6
37	Mesitas De Santa Inés	Cundina- marca	1.340	Or-Occ							20,3						31,6*							22,2							25,9
38	El Recreo	Valle del Cauca	1.421	C-Occ							12,9						33,9*							25,0							28,2
39	El Cedral	Risaralda	2.120	C-Occ							14,6						50,2*							18,3							16,9
40	Arturo Gómez	Valle del Cauca	1.259	C-Occ							12,3						29,9*							27,3							30,4
41	Maracay	Quindío	1.402	C-Occ							12,8						31,4*							26,3							29,5
42	Misiones	Cundina- marca	1.540	Or-Occ							22,1						35,0							19,5							23,4*
43	El Agrado	Quindío	1.275	C-Occ							12,5						25,4*							30,6							31,4
44	La Bella	Quindío	1.449	C-Occ							14,7						26,3*							26,7							32,3
45	Chapetón	Tolima	1.353	C-Or							24,6						19,6							21,5							34,2*
46	Paraguai- cito	Quindío	1.203	C-Occ							15,1						26,0							26,7*							32,2
47	Granja Tibacuy	Cundina- marca	1.538	Or-Occ							16,8						29,4							22,8							31,0*
48	La Espe- ranza	Quindío	1.667	C-Occ							15,1						35,5*							23,4*							26,0

Continúa...

...continuación.

#	Estación	Depto.	Alt.	Cordillera	Mañana							Tarde						Noche						Madrugada									
					- vertiente	7	8	9	10	11	12	P%	13	14	15	16	17	18	P%	19	20	21	22	23	24	P%	1	2	3	4	5	6	P%
49	La Sirena	Valle del Cauca	1.519	C-Occ								16,2							28,9*							25,2							29,7
50	Manuel M. Mallarino	Valle del Cauca	1.331	Occ-Or								17,9						24,8*							25,6							31,7	
51	Julio Fernández	Valle del Cauca	1.381	Occ-Or								19,3						25,1*							22,2							33,4	
52	La Selva	Valle del Cauca	1.805	C-Occ								16,4						37,3*							22,2							24,2	
53	El Campín	Tolima	1.219	Or-Occ								25,9						24,8							16,6							32,7*	
54	La Trinidad	Cauca	1.671	C-Occ								11,1						38,1*							27,5							23,3	
55	Manuel Mejía	Cauca	1.735	C-Occ								10,9						32,9*							29,8							26,3	
56	Simón Campos	Huila	1.754	C-Or								27,1						22,2							18,3							32,4*	
57	Jorge Villamil	Huila	1.420	Or-Occ								24,6						32,6*							18,1							24,7	
58	El Sauce	Nariño	1.609	C-Occ								11,0						34,9*							28,3							25,9	
59	Ospina Pérez	Nariño	1.603	C-Occ								10,7						26,9							31,8*							30,5	

*Jornada del ciclo diurno con mayor ocurrencia de lluvias mayores a 20 mm h⁻¹. C: Central, Occ: Occidental, Or: Oriental, SNSM: Sierra Nevada de Santa Marta.

Trojer fue pionero en interpretar la distribución de la lluvia horaria de la región cafetera colombiana. En este trabajo, utilizando una mayor cantidad de datos horarios de lluvia y más estaciones, se posibilitó un mejor entendimiento de la distribución horaria, que como lo reitera Trojer en varios de sus trabajos, está claramente influenciada por las circulaciones locales y la ubicación topográfica. Por efecto de la circulación diurna local, la estación El Cedral presenta una mayor frecuencia de las lluvias en horas de la tarde. Al contrario, sería una circulación nocturna, que se desarrolla cuando el aire frío de la montaña fluye hacia el valle donde asciende, produciendo las lluvias predominantes en la noche, como se evidencia en la estación Santa Helena. También hay sitios donde actúan ambas circulaciones (diurna y nocturna), reflejado claramente en El Jazmín (Risaralda), El Agrado, La Bella (Quindío) y La Sirena (Valle del Cauca), donde la distribución horaria tiene dos máximos. En algunos casos, la ubicación latitudinal, altitudinal y de cordillera y vertiente explican la influencia de las circulaciones locales sobre la distribución horaria de la lluvia, el cual también está relacionado con la topografía, los vientos y la nubosidad (Trojer, 1959).

Tendencia en la lluvia máxima

Los resultados de la prueba Mann Kendall para 28 estaciones analizadas (Figura 4 y Tabla 2), revelan que existe mayor proporción de estaciones con tendencias crecientes en las lluvias máximas en todas las duraciones analizadas, sin embargo, en pocas estaciones fue significativa. Un mayor número de estaciones tienen tendencias crecientes significativas para la duración de 12 horas, en las que se destacan Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), Paraguaicito y La Bella (Quindío), ubicadas sobre la vertiente Occidental de la cordillera Central.

Analizando los resultados basados en las regiones cafeteras de Colombia, se observa que en la región Norte (7° N a 11°N), en las estaciones Pueblo Bello (Cesar) y Francisco Romero (Norte de Santander) se presentaron tendencias crecientes no significativas en todas las duraciones, mientras que en la estación Blonay, ubicada también en Norte de Santander, la tendencia es decreciente en la lluvia máxima horaria en todas las duraciones.

Tabla 2. Tendencias de la lluvia máxima en 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas por la prueba Mann Kendall.

Estaciones Analizadas		28											
		1 hora		2 horas		4 horas		6 horas		12 horas		24 horas	
Tendencia Creciente	No Significativa	13	46%	14	50%	17	61%	15	54%	12	43%	18	64%
	Significativa	1	4%	2	7%	1	4%	2	7%	4	14%	2	7%
Tendencia Decreciente	No Significativa	13	46%	12	43%	10	36%	10	36%	11	39%	8	29%
	Significativa	1	4%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Sin Tendencia		0	0%	0	0%	0	0%	1	4%	1	4%	0	0%

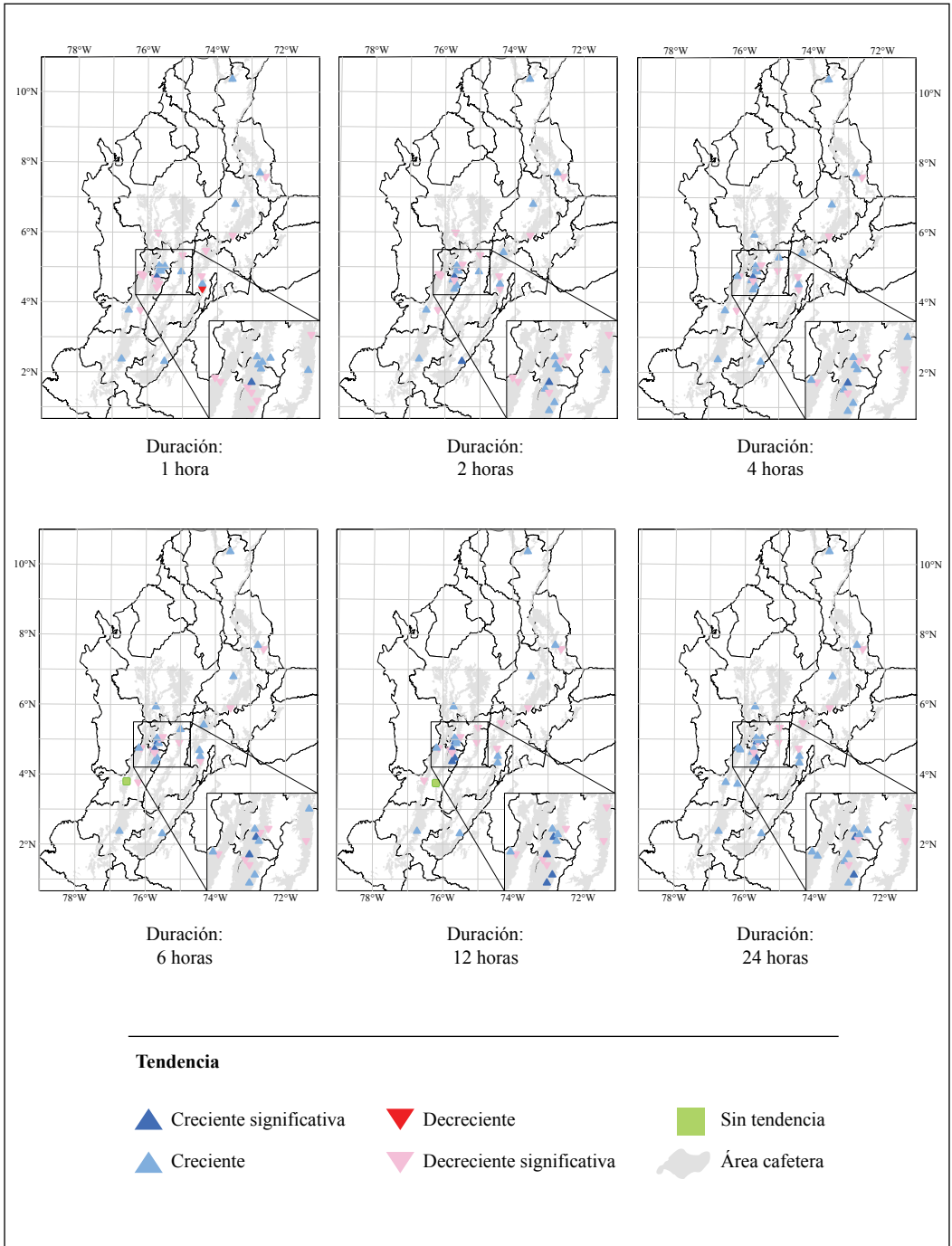


Figura 4. Tendencias reportadas en la prueba Mann Kendall para lluvias con duraciones de 1, 2, 4, 6, 12 y 24 horas.

En la región cafetera Central (3°N a 7°N) sobresalen las estaciones Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), La Bella y Paraguaicito (Quindío) por presentar tendencia creciente significativa en al menos una de las duraciones de lluvias máximas. La estación Granja Tibacuy (Cundinamarca) fue la única que presentó tendencia decreciente significativa en las lluvias máximas en una hora. En términos generales, para esta región se identificaron tres estaciones con tendencias crecientes en lluvia en todas las duraciones, y dos estaciones con tendencias decrecientes en todas las duraciones, a pesar de no ser significativas, indican que sus intensidades a nivel horario están aumentando o disminuyendo, respectivamente. Particularmente, las estaciones La Selva y Julio Fernández, ubicadas en el departamento de Valle del Cauca, en la franja entre 3,75°N y 3,8°N, no presentaron tendencia en una de las duraciones de lluvia máxima; ambas presentaron comportamiento contrario entre ellas en las lluvias máximas en 1, 2 y 4 horas, y similar en la lluvia máxima en 24 horas. De acuerdo con los resultados, no se logra identificar una asociación geográfica por ubicación en cordillera ni vertiente en la región central.

El estudio de Correa Ortiz et al. (2021), identifica una tendencia creciente significativa en la lluvia mensual entre los años 1972 y 2010, en una estación ubicada en Marquetalia (Caldas), sin embargo, para una estación ubicada en ese municipio no se evidencia tendencia en la lluvia máxima en 1 hora, aunque sí se advierte una tendencia creciente significativa en la cantidad de eventos Moderados Fuertes (MF) y Fuertes (F).

En la región cafetera Sur, que va desde 1°N hasta 3°N, las estaciones Jorge Villamil en el Huila y Manuel Mejía en el Cauca, presentaron tendencias crecientes en las lluvias máximas para todas las duraciones evaluadas, aunque

solo fue significativa para Jorge Villamil en lluvias máximas en dos horas.

Hallazgos similares fueron reportados por Mayorga, Hurtado, & Benavides (2011), mostrando una tendencia creciente significativa para lluvias fuertes entre 1971 y 2010, en la mayoría de estaciones ubicadas en la región Andina. Así mismo, este resultado concuerda con la tendencia positiva en la intensidad de la lluvia a nivel global encontrada por Giorgi et al. (2011), aunque fue insignificante para América del Sur para el siglo XXI.

Suárez (1975) resaltó que las regiones donde se presentaron los valores más altos en 24 horas, también presentaron las mayores cifras en una hora, a pesar de esto, la tendencia en lluvias máximas en 1 hora y 24 horas se mantiene en las regiones Norte y Sur, mientras que en la Central hay cambio en la tendencia para algunas estaciones.

Los resultados del estudio de Carmona y Poveda (2014), que analizaron la tendencia de la lluvia mensual en Colombia, exhiben un patrón mixto de tendencias crecientes y decrecientes para series entre 25 y 40 años de registros, similar a los resultados obtenidos para lluvias máximas en una hora. De forma semejante ocurre con las tendencias encontradas en series con más de 50 años de registros y los resultados de lluvia máxima en 24 horas, en las que un mayor porcentaje de estaciones presenta tendencias crecientes.

ITA Lluvia Máxima en una hora

Los resultados de ITA para la lluvia máxima en una hora se presentan en la Tabla 3, en la cual para cada estación se expone el valor del índice PTM, el porcentaje de eventos para cada categoría (LM, MF, F y T) en la serie de lluvia máxima en una hora, desde 1980 -2019, y el porcentaje de eventos de cada

categoría que exhibió una tendencia concreta con respecto al total de eventos de la primera mitad de la serie, junto con el símbolo que indica tendencia creciente (↑) o decreciente (↓).

El índice PTM (Tabla 3) indica que siete estaciones presentan tendencia significativa en la lluvia máxima en una hora, en cinco fue creciente y en dos fue decreciente. Los resultados son coincidentes con respecto a la tendencia mostrada por la metodología MK, sin embargo, en esta sólo fue significativa en dos estaciones; por lo que ITA valora con mejor precisión la tendencia de acuerdo a la categoría de la lluvia en una hora.

En la Tabla 3 puede identificarse que una mayor cantidad de estaciones tiene sus lluvias máximas en una hora en las categorías moderada fuerte y fuerte, y en pocas estaciones se presentan lluvias máximas dentro de la categoría torrencial, salvo por las estaciones Francisco Romero (Norte de Santander) y Santa Helena (Caldas). Esto es consistente con los resultados presentados por Suárez (1975), en el que reportó a Francisco Romero como la estación con las mayores lluvias máximas en una hora, y el 70% de las estaciones con lluvias máximas en una hora entre 35 y 45 mm.

La Figura 5 ilustra los gráficos de los resultados del ITA durante 1980 a 2020, para las estaciones que presentaron tendencia significativa. La estación Pueblo Bello (Figura 5a) exhibe una tendencia de aumento en las intensidades de lluvia MF y T, en la que el 30% de eventos de la primera mitad de la serie se encuentra por encima de la línea +10%. Las lluvias fuertes exhiben aumento, ya que todos los eventos se encuentran por encima de la línea 1:1, pero solo el 35% de eventos muestra una tendencia creciente significativa.

En la estación Francisco Romero (Figura 5b) las lluvias máximas horarias se concentran

en los rangos F y T. En los últimos 20 años ha aumentado la cantidad (mm h^{-1}) de las lluvias máximas horarias.

En la estación Granja Tibacuy (Figura 5c) la mayoría de los eventos se encuentran por debajo de la línea -10%, indicando una disminución en los rangos de lluvia MF y F. En los últimos 20 años la mayor cantidad de lluvias máximas horarias estuvo por debajo de 40 mm h^{-1} , similar a lo encontrado por Suárez (1975), mientras que en la primera mitad de la serie hubo lluvias por encima de ese valor.

En La Catalina (Figura 5d) la mayoría de eventos se encuentran por encima de la línea +10% en las categorías de lluvia MF y F, lo que sugiere un aumento significativo en la cantidad de lluvia horaria, conduciendo a un cambio hacia categorías más intensas o mayor lluvia en los últimos 20 años.

En Albán (Figura 5e) se presentó una tendencia decreciente significativa, principalmente en la categoría MF. En Julio Fernández (Figura 5f) cerca de la mitad de eventos se encuentran entre las líneas 1:1 y +10%, sin que pueda determinarse una tendencia en cambio.

En Jorge Villamil (Figura 5g) la tendencia general es creciente, y específicamente los eventos de lluvia MF sugieren un aumento en la cantidad de lluvia y en categoría, situando en igual proporción en la segunda mitad de la serie, las lluvias moderadas fuertes y fuertes.

Estaciones como El Rosario, Cenicafé, La Selva y Arturo Gómez no presentaron tendencia general significativa en el índice PTM, sin embargo, en las categorías F y T se manifiesta una disminución significativa de las lluvias máximas horarias. Para el resto no se identificó un cambio significativo.

Tabla 3. Tendencia de la lluvia máxima en una hora según el índice PTM, porcentaje de eventos de acuerdo a la categoría de lluvia máxima en una hora desde 1980–2019 y porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie que presenta tendencia por encima o por debajo de la línea $\pm 10\%$. (LM: ligero moderada; MF: moderado fuerte; F: fuerte; T: torrencial).

Estación	Departamento	Región	PTM General	Porcentaje (%) de eventos de cada categoría en la serie 1980 - 2019				*Porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie, que presenta tendencia por encima (↑) o debajo (↓) de la línea $\pm 10\%$							
				LM	MF	F	T	LM	MF	F	T				
Pueblo Bello	Cesar	Norte	1,18 *	0	8	73	20		↑	15%	↑	35%	↑	15%	
Blonay	Norte de Santander	Norte	-0,62	5	61	24	11				↓	21%			
Francisco Romero	Norte de Santander	Norte	1,28 *	0	0	45	55				↑	25%	↑	15%	
Aguasblancas	Santander	Norte	0,00	0	28	48	25								
Bertha	Boyacá	Norte	-0,03	0	63	32	5		↑	16%					
El Rosario	Antioquia	Centro	-0,54	0	23	68	10		↑	20%			↓	20%	
Granja Tibacuy	Cundinamarca	Centro	-1,76 *	5	78	18	0	↓	5%	↓	62%	↓	24%		
Misiones	Cundinamarca	Centro	0,86	3	58	35	5	↑	5%	↑	19%	↑	10%		
Mesitas De Santa Inés	Cundinamarca	Centro	-0,70	0	42	53	5			↓	16%	↓	5%		
Montelíbano	Cundinamarca	Centro	-0,43	0	20	68	13			↓	5%	↓	5%	↓	20%
Naranjal	Caldas	Centro	0,85	0	15	68	18			↑	5%	↑	15%	↑	5%
Santa Helena	Caldas	Centro	-0,11	0	0	29	71							↓	5%
Cenicafé	Caldas	Centro	-0,40	0	23	48	30			↓	5%	↑	10%	↓	15%

Continúa...

...continuación.

Estación	Departamento	Región	PTM General	Porcentaje (%) de eventos de cada categoría en la serie 1980 - 2019				*Porcentaje de eventos de la primera mitad de la serie, que presenta tendencia por encima (↑) o debajo (↓) de la línea ±10%					
				LM	MF	F	T	LM	MF	F	T		
Santágueda	Caldas	Centro	0,52	0	45	53	3	↑	10%	↑	15%		
Agronomía	Caldas	Centro	0,91	3	66	29	3	↑	21%	↑	11%		
La Trinidad	Tolima	Centro	0,64	0	10	80	10			↑	10%	↑	5%
La Catalina	Risaralda	Centro	1,46 *	0	33	55	13			↑	35%		
El Jazmín	Risaralda	Centro	0,19	0	23	68	10	↑	10%				
Paraguacito	Quindío	Centro	-0,49	0	18	83	0				↓	10%	
La Bella	Quindío	Centro	-0,49	0	30	55	15	↑	5%	↓	5%	↓	5%
Maracay	Quindío	Centro	-0,22	0	24	58	18	↓	5%				
La Selva	Valle del Cauca	Centro	-0,33	0	58	40	3	↑	10%	↓	25%	↓	5%
Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	Centro	0,65	5	70	25	0	↓↑	20%	↑	20%		
Albán	Valle del Cauca	Centro	-1,06 *	11	79	8	3	↓	84%	↑	5%		
Julio Fernández	Valle del Cauca	Centro	0,95 *	5	78	18	0	↑	10%	↑	35%		
Arturo Gómez	Valle del Cauca	Centro	-0,63	0	53	43	5	↑	10%	↓	20%	↓	10%
Jorge Villamil	Huila	Sur	1,99 *	8	70	20	3	↑	80%				
Manuel Mejía	Cauca	Sur	-0,12	0	40	55	5	↓	5%	↓	5%	↓	10%

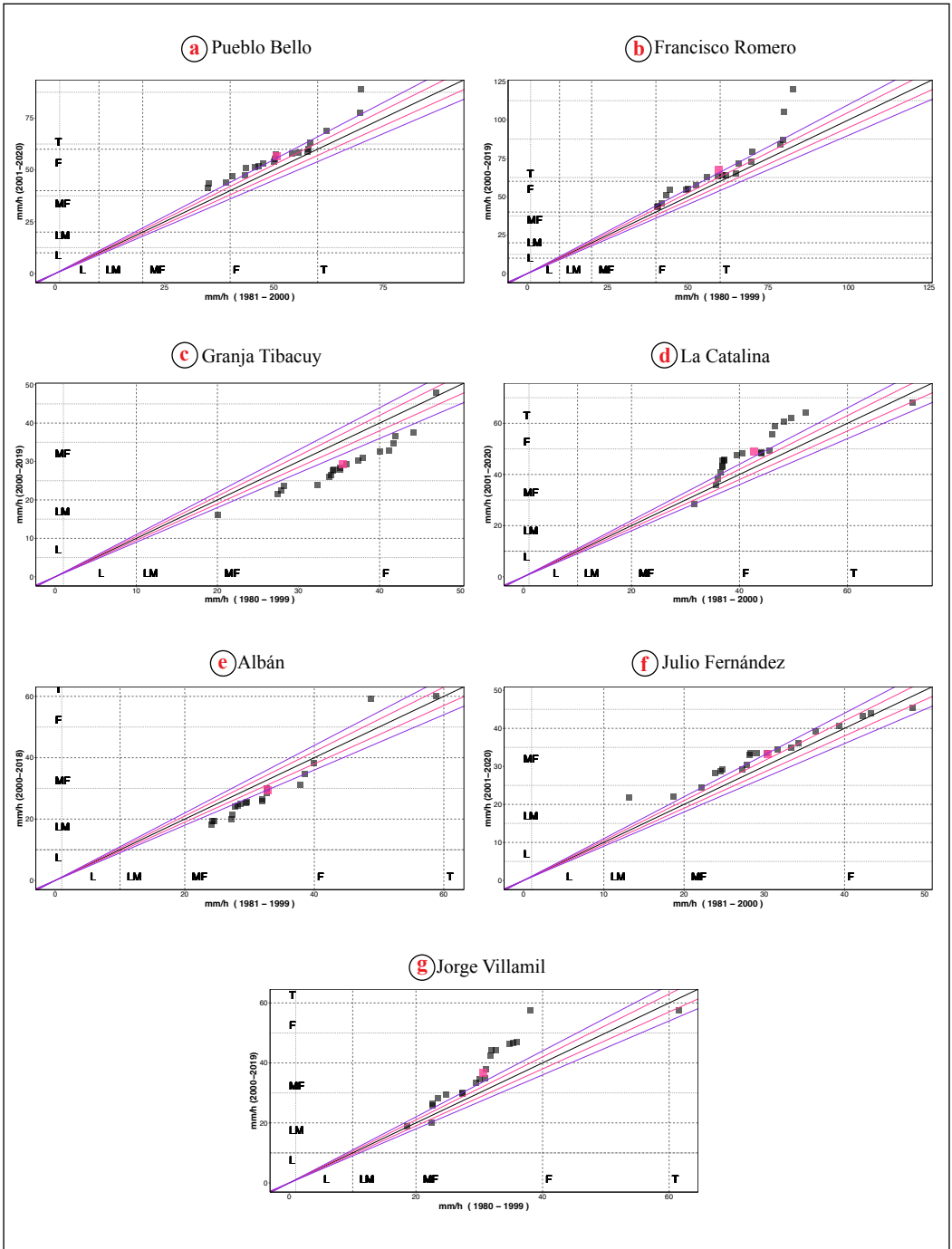


Figura 5. Gráficos del ITA para la lluvia máxima en 1 hora. La línea diagonal continua negra es la línea 1:1, las líneas discontinuas son las líneas de $\pm 10\%$.

Distintivamente, la región cafetera Norte es la que presenta los mayores valores de lluvia máxima en una hora, seguida por la región cafetera Central y Sur, corroborando el estudio de Suárez (1975).

Resultados ITA cantidad de eventos de lluvia horaria

El índice de tendencia parcial PTM y la tendencia reflejada en el gráfico ITA para cada una de las categorías de lluvia horaria (Tabla 4), revela una tendencia específica para la mayoría de estaciones, en las categorías de lluvia LM, MF y F. En las estaciones Pueblo Bello, Misiones, Santágueda y Manuel Mejía, se detectó una tendencia creciente en la cantidad de eventos en todas sus categorías de lluvia. En Blonay, Granja Tibacuy, Santa Helena, Paraguaicito, Julio Fernández y Arturo Gómez, se presenta una tendencia decreciente en alguna categoría de lluvia. Es particular que, en tres de ellas, ocurra un incremento en la cantidad de eventos de otra categoría de lluvia.

Marín (2017), Ocampo et al. (2020) y Ocampo (2018), encontraron que la intensidad y frecuencia de los eventos extremos de lluvia, han mostrado tendencias positivas en la mayoría de las estaciones de la zona Sur de Caldas, especialmente en las estaciones Naranjal y Santágueda, donde se confirma con este estudio, que están aumentando los eventos en todas las categorías de lluvia.

Otras estaciones como Francisco Romero, Aguasblancas, Bertha, El Rosario, Mesitas de Santa Inés, Agronomía, La Catalina, La Bella y La Selva, muestran una tendencia creciente significativa en alguna de sus categorías de lluvia. El resto de estaciones no experimenta una tendencia en la cantidad de eventos de lluvia. Coincide la tendencia encontrada en la lluvia máxima horaria, con la cantidad de eventos de lluvia horaria.

En estudios que analizaron las tendencias en lluvias extremas en otros países de la región tropical, como Brasil, Etiopía, Kenia, Tanzania, India y Malasia Peninsular, Silva Dias et al. (2013) afirmaron que los índices climáticos como la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por sus siglas en inglés) y la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, por sus siglas en inglés) juegan un papel importante en la explicación de la tendencia en aumento y la variabilidad observada de las cantidades y frecuencias de las lluvias diarias extremas en Brasil. En algunas estaciones de Etiopía, Kenia y Tanzania los extremos de lluvia no mostraron un cambio significativo (Gebrechorkos et al., 2019). Sin embargo, en Malasia Peninsular los eventos de lluvias extremas por hora mostraron una tendencia creciente entre los años 1975 y 2010 (Syafrina et al., 2015). El estudio realizado por Sa'adi et al. (2019) también detectó tendencias crecientes en las lluvias máximas de una y tres horas en Sarawak (Malasia), sin embargo, no fueron significativas. En la mayor parte de la India peninsular, el número de horas de lluvia mostró una tendencia creciente, mientras que en el resto de la India se observó una disminución (Deshpande et al., 2012). Los hallazgos de estos estudios, evidencian que las tendencias no son generalizadas en las regiones, por lo que no hay un patrón espacial definido; además, la proporción de tendencias crecientes es mayor o igual que las tendencias decrecientes, y muy pocas estaciones presentan significancia estadística.

Puede concluirse que en la región cafetera colombiana, el promedio de horas secas (0 mm) en el año es de 7.841, las lluvias ligeras (0,1 a 10 mm), corresponden al 58% de la lluvia total anual, con un promedio de 884 horas anuales, las lluvias Ligeras Moderadas (10,1 a 20 mm) son en promedio 28 (20% de la cantidad de lluvia anual), las lluvias

Tabla 4. Tendencia del número de eventos de lluvia para cada categoría (L=Ligera, LM=Ligera Moderada, MF=Moderada Fuerte, F=Fuerte, T=Torrencial) según el índice PTM y el análisis gráfico.

Estación	Departamento	L (0,1 a 10 mm h ⁻¹)		LM (10,1 a 20 mm h ⁻¹)		MF (20,1 a 40 mm h ⁻¹)		F (40,1 a 60 mm h ⁻¹)		T (>60 mm h ⁻¹)	
		PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia
Pueblo Bello	Cesar	2,5	↑	2,2	↑	1,7	↑	2,5	↑		
Blonay	Norte de Santander	0,0		-1,2	↓	0,5		1,3			
Francisco Romero	Norte de Santander									2,5	↑
Aguasblancas	Santander	0,6		1,6	↑	2,8	↑	3,3	↑		
Bertha	Boyacá	0,8		0,2		1,2	↑	1,7	↑		
El Rosario	Antioquia	1,3	↑	1,9	↑	2,5	↑	-0,6			
Granja Tibacuy	Cundinamarca	1,0	↑	0,1		-1,9	↓				
Misiones	Cundinamarca	2,4	↑	1,0		1,3	↑				
Mesitas De Santa Inés	Cundinamarca	0,7		1,9	↑	-0,1		2,8	↑		
Montelibano	Cundinamarca	0,8		0,5		0,3		-0,5			
Naranjal	Caldas	0,6		1,3	↑	1,8	↑	2,1	↑		
Santa Helena	Caldas	0,8		0,6		1,1	↑	3,8	↑	-1,8	↓
Cenicafé	Caldas	0,4		0,6		0,6		-0,7			
Santágueda	Caldas	1,9	↑	2,5	↑	4,5	↑	1,9	↑		

Continúa...

...continuación.

Estación	Departamento	L (0,1 a 10 mm h ⁻¹)		LM (10,1 a 20 mm h ⁻¹)		MF (20,1 a 40 mm h ⁻¹)		F (40,1 a 60 mm h ⁻¹)		T (>60 mm h ⁻¹)	
		PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia	PTM	Tendencia
Agromonía	Caldas	-0,3		-0,7		1,6	↑				
La Trinidad	Tolima	0,4		0,3		-0,3					
La Catalina	Risaralda	1,8	↑	0,9		1,6	↑	5,9	↑		
El Jazmín	Risaralda	0,9		0,4		0,7		1,0			
Paraguaicito	Quindío	0,3		0,5		2,4	↑	-3,5	↓		
La Bella	Quindío	0,4		0,7		0,8		1,7	↑		
Maracay	Quindío	-0,1		-0,3		-0,3		0,4			
La Selva	Valle del Cauca	0,4		1,3	↑	-0,9					
Santiago Gutiérrez	Valle del Cauca	-0,6		-0,6		-0,9					
Albán	Valle del Cauca	0,8		0,4		1,0					
Julio Fernández	Valle del Cauca	-0,1		-1,4	↓	-1,4	↓				
Arturo Gómez	Valle del Cauca	0,8		2,2	↑	3,8	↑	-2,5	↓		
Jorge Villamil	Huila	0,6		0,1		0,6					
Manuel Mejía	Cauca	2,0	↑	1,9	↑	3,2	↑	1,9	↑		

Moderadas Fuertes, concernientes al 14% de la lluvia anual, son en promedio 10 horas al año, y las lluvias Fuertes y Torrenciales son menos frecuentes en el año con respecto al resto de categorías y aportan ambas el 4% de la cantidad de lluvia anual.

En la región cafetera Norte, en la mayoría de estaciones, las lluvias ocurren con mayor frecuencia en las noches, mientras que en la región cafetera Sur hay una mayor ocurrencia de las lluvias en la tarde.

En la región cafetera Central para las estaciones ubicadas sobre la cordillera Oriental – vertiente Occidental, no hay un patrón claro generalizado de la ocurrencia de las lluvias. En la misma región, para las estaciones de la vertiente Occidental de la cordillera Central, a partir de los 3° de LN hasta los 4,8° LN, hay una mayor ocurrencia de lluvias en la tarde y madrugada. A partir de los 4,8° de LN hasta los 5,9° de LN, las lluvias son más frecuentes en horas de la noche y madrugada, así como en las estaciones ubicadas sobre la vertiente Oriental de la cordillera Occidental.

La lluvia máxima en una hora está aumentando en las estaciones Pueblo Bello, Francisco Romero, La Catalina, Julio Fernández y Jorge Villamil, y disminuyendo en las estaciones Granja Tibacuy y Albán. Estos resultados serán la base para afrontar una gestión adecuada de las lluvias máximas en las áreas cafeteras donde se encuentran ubicadas estas estaciones, para asegurar que las estructuras (terrazas, acequias de ladera, zanjas de desviación, drenajes) tengan una capacidad que les permita desalojar las máximas cantidades de agua que pueden llegar a ellas durante el tiempo de vida que previamente se les ha calculado (Suárez, 1947); esto implica una actualización de las curvas intensidad–duración–frecuencia.

La gran diversidad de las condiciones topográficas de los Andes colombianos y los cambios en la radiación incidente (Jaramillo, 2005) y, el clima tropical húmedo de Colombia (Mesa et al., 2021), hacen parte de los factores que influyen en la alta variabilidad espacio temporal de la lluvia. Al identificar la tendencia en lluvias máximas entre 1980 y 2019, no se presentó significancia estadística y, las condiciones altamente contrastantes asociadas a la orografía y topografía, no permitieron encontrar un patrón regional.

El número de eventos de lluvia de diferentes intensidades está aumentando significativamente en la mayoría de estaciones de la región cafetera. Especialmente en las categorías Moderada Fuerte y Fuerte. Se destacan Pueblo Bello, Santágueda y Manuel Mejía por presentar aumento significativo en los eventos de todas sus categorías de lluvia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los auxiliares de la disciplina de Agroclimatología de Cenicafé, a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia por patrocinar la realización de la investigación ACL102010. Al profesor de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Jorge Julián Vélez Upegui Ph.D., por la asesoría brindada en la formulación del estudio. Esta investigación fue financiada por Recursos propios Cenicafé, proyecto número ACL102010.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización: CRC y JCGL, Curación de datos: CRC, Redacción borrador-original: CRC y NGSB, Metodología: CRC y JCGL, Validación: CRC, JCGL y NGSB, Redacción - revisión y edición: CRC, JCGL y NGSB. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B., & Groll, M. (2020). Innovative Trend Analysis of Precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332. <https://doi.org/10.3390/atmos11040332>
- Ávila, Á., Guerrero, F., Escobar, Y., & Justino, F. (2019). Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes. *Water*, 11(2), 379. <https://doi.org/10.3390/w11020379>
- Bedoya-Soto, J. M., Aristizábal, E., Carmona, A. M., & Poveda, G. (2019). Seasonal Shift of the Diurnal Cycle of Rainfall Over Medellín's Valley, Central Andes of Colombia (1998–2005). *Frontiers in Earth Science*, 7, 92. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00092>
- Beguería, S., & Lorente, A. (2002). *Landslide hazard mapping by multivariate statistics: Comparison of methods and case study in the Spanish Pyrenees* [Preprint]. CSIC. <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/23543>
- Carmona, A. M., & Poveda, G. (2014). Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition. *Climatic Change*, 123(2), 301–313. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1046-3>
- Cerón, W. L., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Canchala, T., Ocampo-Marulanda, C., Avila-Diaz, A., & Antunes, J. (2022). Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach. *Atmosphere*, 13(2), 156. <https://doi.org/10.3390/atmos13020156>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37–52. <https://doi.org/10.18359/rcin.4900>
- Delgado, V., Zambrano, J., & Lez, J. V. (2020). *The knowledge of the spatial-temporal rainfall patterns as a tool for storm-design. Case study: Manizales, Colombia* [Preprint]. Authorea. <https://doi.org/10.22541/au.158921470.04015184>
- Deshpande, N. R., Kulkarni, A., & Krishna Kumar, K. (2012). Characteristic features of hourly rainfall in India. *International Journal of Climatology*, 32(11), 1730–1744. <https://doi.org/10.1002/joc.2375>
- Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1994). *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Federación Nacional de Cafeteros. (s. f.). Estadísticas Cafeteras. *Federación Nacional de Cafeteros*. Recuperado 31 de enero de 2023, de <https://federaciondecafeteros.org/wp/estadisticas-cafeteras/>
- García-Delgado, H., Machuca, S., & Medina, E. (2019). Dynamic and geomorphic characterizations of the Mocoa debris flow (March 31, 2017, Putumayo Department, southern Colombia). *Landslides*, 16(3), 597–609. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-01121-3>
- Gebrechorkos, S. H., Hülsmann, S., & Bernhofer, C. (2019). Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*, 39(1), 18–30. <https://doi.org/10.1002/joc.5777>
- Giorgi, F., Im, E.-S., Coppola, E., Diffenbaugh, N. S., Gao, X. J., Mariotti, L., & Shi, Y. (2011). Higher Hydroclimatic Intensity with Global Warming. *Journal of Climate*, 24(20), 5309–5324. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI3979.1>
- Giraldo-Osorio, J., Trujillo-Osorio, D., & Baez-Villanueva, O. (2022). Analysis of ENSO-Driven Variability, and Long-Term Changes, of Extreme Precipitation Indices in Colombia, Using the Satellite Rainfall Estimates CHIRPS. *Water*, 14(11), 1733. <https://doi.org/10.3390/w14111733>
- Gómez Blanco, J. A. (2010). *Análisis de las precipitaciones horarias y decadales en Colombia*. IDEAM.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson, A. M., & Wolfe, D. (2011). Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agronomy Journal*, 103(2), 351–370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>
- Helwig, N. E. (2023). *nptest: Nonparametric Bootstrap and Permutation Tests (1.1)* [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/nptest/index.html>
- Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & Zhang, H.-M. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5):

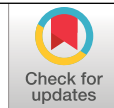
- Upgrades, Validations, and Intercomparisons. *Journal of Climate*, 30(20), 8179–8205. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s/f). *Boletín Semanal para el Sector Agrícola*. Recuperado el 5 de mayo de 2024, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/boletin-semanal-de-seguimiento-y-pronostico>
- Jaramillo, A. (2005). Lluvias máximas en 24 horas para la región Andina de Colombia. *Revista Cenicafé*, 56(4), 250–268.
- Jaramillo, A. (2018). *El clima de la caficultura en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0031>
- Jaramillo, A., & Kogson, F. (1994). Características de las lluvias máximas en la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 45(1), 25–34. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1131/>
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Griffin.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Mapes, B. E., Warner, T. T., & Xu, M. (2003). Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern South America. Part III: Diurnal Gravity Waves and Nocturnal Convection Offshore. *Monthly Weather Review*, 131(5), 830–844. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0830:DPORIN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0830:DPORIN>2.0.CO;2)
- Mapes, B. E., Warner, T. T., Xu, M., & Negri, A. J. (2003). Diurnal Patterns of Rainfall in Northwestern South America. Part I: Observations and Context. *Monthly Weather Review*, 131(5), 799–812. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2003\)131<0799:DPORIN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2003)131<0799:DPORIN>2.0.CO;2)
- Marín Salazar, J. P. (2017). *Dinámica de los eventos hidroclimáticos extremos en la cuenca del río Chinchiná por efecto de variabilidad climática* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/61995>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, Ö., Yu, R., & Zhou, B. (Eds.). (2021). Summary for policymakers. En *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 3–32). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Mayorga, R., Hurtado, G., & Benavides, H. (2011). *Evidencias de cambio climático en Colombia con base en información estadística* (Nota Técnica IDEAM–METEO/001–2011). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Clim%C3%A1tico+en+Colombia+con+base+en+informaci%C3%B3n+estad%C3%ADstica.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>
- McLeod, A. I. (2022). *Kendall: Kendall Rank Correlation and Mann-Kendall Trend Test (2.2.1)* [Software]. <https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/index.html>
- Mesa, O., Urrea, V., & Ochoa, A. (2021). Trends of Hydroclimatic Intensity in Colombia. *Climate*, 9(7), 120. <https://doi.org/10.3390/cli9070120>
- Morales-Acuña, E., Linero-Cueto, J. R., & Canales, F. A. (2021). Assessment of Precipitation Variability and Trends Based on Satellite Estimations for a Heterogeneous Colombian Region. *Hydrology*, 8(3), 128. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030128>
- Nisansala, W. D. S., Abeysingha, N. S., Islam, A., & Bandara, A. M. K. R. (2020). Recent rainfall trend over Sri Lanka (1987–2017). *International Journal of Climatology*, 40(7), 3417–3435. <https://doi.org/10.1002/joc.6405>
- Ocampo, O. L. (2018). *Modelación hidrológica y agronómica de los efectos del cambio y la variabilidad climática en la producción cafetera de Caldas* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63694>
- Ocampo, O. L., Vélez Upegui, J. J., Marín Salazar, J. P., & Forero Hernández, A. T. (2020). Análisis de tendencias climáticas con RClindex en el departamento de Caldas, Colombia. *Scientia et Technica*, 25(4), 595–603. <https://doi.org/10.22517/23447214.22771>
- Poveda, G., Mesa, O. J., Salazar, L. F., Arias, P. A., Moreno, H. A., Vieira, S. C., Agudelo, P. A., Toro, V. G., & Alvarez, J. F. (2005). The Diurnal Cycle of Precipitation in the Tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, 133(1), 228–240. <https://doi.org/10.1175/MWR-2853.1>
- Sa'adi, Z., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E.-S., & Wang, X.-J. (2019). Trends analysis of rainfall and rainfall extremes in Sarawak, Malaysia using modified Mann–Kendall

- test. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131(3), 263–277. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0564-3>
- Seenu, P. Z., & Jayakumar, K. V. (2021). Comparative study of innovative trend analysis technique with Mann-Kendall tests for extreme rainfall. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(7), 536. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06906-w>
- Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., & Zhou, B. (2021). Weather and climate extreme events in a changing climate. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, Ö. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1513-1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Silva Dias, M. A. F., Dias, J., Carvalho, L. M. V., Freitas, E. D., & Silva Dias, P. L. (2013). Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, 116(3), 705–722. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0504-7>
- Suárez-Cobian, P. (1959). El periodo diurno en las lluvias en los Andes ecuatoriales. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*, 10, 327-335.
- Suárez, F. (1947). Característica de las lluvias en una zona cafetera de Colombia y uso de los datos pluviográficos en el cálculo de obras de defensa de suelos. *Boletín Técnico Cenicafé*, 1(3), 1–38. <http://hdl.handle.net/10778/667>
- Suárez, F. (1975). Precipitaciones máximas de la zona caferera colombiana. *Revista Cenicafé*, 26(4), 172–186.
- Suárez, J. V. (1974). Régimen de las lluvias de la zona cafetera colombiana. *Avances Técnicos Cenicafé*, 34, 1-4. <https://doi.org/10.38141/10779/0034>
- Syafrina, A. H., Zalina, M. D., & Juneng, L. (2015). Historical trend of hourly extreme rainfall in Peninsular Malaysia. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(1), 259–285. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1145-8>
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M., & Parsons, D. B. (2003). The Changing Character of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9), 1205–1218. <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205>
- Trojer, H. (1958). Meteorología y climatología de la vertiente del Pacífico colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 10(40), 199–219. <https://doi.org/10.18257/raccefyfyn.583>
- Trojer, H. (1959). Fundamentos para una zonificación meteorológica y climatológica del trópico y especialmente de Colombia. *Revista Cenicafé*, 10(8), 289–373. <http://hdl.handle.net/10778/719>
- Wu, H., & Qian, H. (2017). Innovative trend analysis of annual and seasonal rainfall and extreme values in Shaanxi, China, since the 1950s. *International Journal of Climatology*, 37(5), 2582–2592. <https://doi.org/10.1002/joc.4866>
- Wu, M., Luo, Y., Chen, F., & Wong, W. K. (2019). Observed Link of Extreme Hourly Precipitation Changes to Urbanization over Coastal South China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(8), 1799–1819. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-18-0284.1>
- Zwiers, F. W., Alexander, L. V., Hegerl, G. C., Knutson, T. R., Kossin, J. P., Naveau, P., Nicholls, N., Schär, C., Seneviratne, S. I., & Zhang, X. (2013). Climate Extremes: Challenges in Estimating and Understanding Recent Changes in the Frequency and Intensity of Extreme Climate and Weather Events. En G. R. Asrar & J. W. Hurrell (Eds.), *Climate Science for Serving Society: Research, Modeling and Prediction Priorities* (pp. 339-389). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6692-1_13

EFFECTO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL CAFÉ EN LA ACTIVIDAD DE AGUA

Valentina Osorio Pérez *, Jenny Pabón Usaquén *, Claudia Rocío Gómez *

Osorio, V., Pabón, J., & Gómez, C. R. (2024). Efecto del porcentaje de humedad del café en la actividad de agua. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75104. <https://doi.org/10.38141/10778/75104>



En la comercialización de café el porcentaje de humedad es uno de los indicadores de calidad física de mayor importancia, puesto que define la vida útil y el comportamiento de las características físicas y sensoriales del café durante el almacenamiento. La actividad de agua (a_w) puede expresarse como la disponibilidad potencial del agua para participar en diferentes reacciones (bioquímicas, microbiológicas, fisicoquímicas), cuanto mayor sea el contenido de agua mayor será la a_w . Con el propósito de determinar el valor de actividad de agua para el café pergamino seco y café excelso en muestras que cumplen el porcentaje de humedad exigido del 10% al 12%, se obtuvieron muestras de diferentes orígenes colombianos y procesos. Para lo anterior, se tomaron 400 muestras de café: 200 de café pergamino seco de los puntos de compra de Cooperativas de Caficultores y 200 muestras de café verde en almendra calidad excelso en puntos de trilla. En cada caso se determinó el porcentaje de humedad según la norma ISO 6673 y la actividad de agua a temperatura de 25°C. Se comprobó que el café pergamino seco y excelso que tienen porcentajes de humedad dentro de los rangos exigidos, obtienen valores de actividad de agua inferiores a 0,62, lo cual hace que el producto sea poco susceptible a la mayoría de las causas de deterioro.

Palabras clave: Café pergamino seco, café excelso, calidad sensorial, humedad relativa de equilibrio (HRE), café, Cenicafé, Colombia.

EFFECT OF COFFEE MOISTURE CONTENT ON WATER ACTIVITY

In the coffee industry, the percentage moisture content is one of the most important physical indicators of quality, defining the shelf life and the behavior of the physical and sensory properties of coffee during storage. Water activity (a_w) can be expressed as the potential availability of water to participate in different reactions (biochemical, microbiological, physicochemical); the higher the water content, the higher the a_w . To determine the water activity value for dry parchment coffee and excelso coffee in samples that meet the required moisture percentage of 10% to 12%, samples from different Colombian origins and processes were obtained. For this purpose, 400 coffee samples were taken: 200 dry parchment coffee samples from Coffee Growers' Cooperatives purchase points and 200 green coffee bean samples of excelso quality from milling facilities. In each case, the moisture percentage was determined according to ISO 6673 standard and water activity at a temperature of 25°C. Dry parchment coffee and excelso coffee with moisture levels within the required range were found to have water activity values below 0.62, making the product less susceptible to most causes of deterioration.

Keywords: Dry parchment coffee, excelso coffee, sensory quality, equilibrium relative humidity (ERH), coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico I y Asistentes de Investigación, respectivamente. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-1166-0165>, <https://orcid.org/0000-0003-1576-2297> y <https://orcid.org/0000-0002-0685-8337> respectivamente



Los principales factores que influyen en el crecimiento de los microorganismos son el sustrato, la disponibilidad de agua, la temperatura y el pH (García et al., 2011). El contenido de humedad es el factor de control de mayor importancia en los granos, pues define su comportamiento durante el almacenamiento. Así, un alto contenido de agua puede producir el calentamiento de la masa del grano, lo que genera un foco de hongos e insectos que contribuyen a la pérdida de peso y calidad. Por su parte, los granos cereales con contenidos de humedad inferiores al 15%, son poco susceptibles al ataque de microorganismos en cualquier medio (Kumar & Kalita, 2017).

Las propiedades de los alimentos que relacionan la concentración de agua en el alimento con su presión parcial son cruciales para el análisis de los fenómenos de transporte de masa y calor durante la deshidratación. Para expresar el estado en el cual se encuentra el agua en los alimentos se ha utilizado la actividad de agua (a_w), pues representa el estado energético de las moléculas de agua en el mismo. Esta propiedad termodinámica de los alimentos está relacionada con la fugacidad del agua, que se define como su disponibilidad potencial para participar en reacciones químicas, bioquímicas y en el desarrollo de hongos (Labuza, 1980). La actividad de agua (a_w) es un factor importante en la estabilidad y calidad de los alimentos, puesto que altos valores pueden provocar el deterioro mediante el crecimiento microbiano y producción de toxinas, como la ocratoxina A (OTA). En otras palabras, la a_w es la disponibilidad de agua que se tiene en el sustrato para que sea empleada en los procesos biológicos (bioquímica) de los seres vivos allí presentes (Ecuación <1>).

$$a_w = \frac{p}{p^*} <1>$$

Donde:

p : presión parcial de vapor de agua en equilibrio con la solución

p^* : presión parcial de vapor de agua pura a la misma temperatura

La actividad de agua varía entre 0,0 y 1,0. Dependiendo del tipo de alimento, diferentes contenidos de humedad pueden presentar valores de actividad de agua cercanos a 1. Estos valores corresponden a alimentos con altos contenidos de agua como verduras, frutas y bebidas, mientras valores más bajos ($a_w < 0,5$), corresponden a la mayoría de los alimentos deshidratados como pastas y cereales (Labuza, 1975). Alimentos con valores de actividad de agua inferiores a 0,7, son poco susceptibles a la mayoría de las causas de deterioro físico, químico y microbiológico; y por debajo de 0,6, son muy estables al deterioro por microorganismos (Puerta, 2006; Labuza, 1975). El concepto de Humedad Relativa de Equilibrio (HRE %) o actividad del agua (a_w) puede ser utilizado como un parámetro determinante para el inicio del desarrollo de hongos. Existen varios factores que tienen influencia en el desarrollo de hongos micotoxigénicos en el grano y la producción de micotoxinas, entre estos se tiene el tipo y el estado del grano y la temperatura y la humedad del ambiente en el cual están almacenados (Mannaa et al., 2017).

El límite de actividad de agua para el crecimiento inicial de hongos como *A. ochraceus* es de 0,76, lo que corresponde a un contenido de humedad del 14,2% para los granos de café verde, pero para la producción de OTA los valores mínimos de actividad de agua varían en el rango de 0,83 – 0,87 (Barbosa-Cánovas et al., 2008). Generalmente, se considera que para el inicio del crecimiento de mohos en café verde se requiere un contenido de humedad que exceda el 13% en base húmeda (Puerta, 2006).

La isoterma de sorción de humedad es una representación gráfica de la variación en la actividad del agua (a_w) o HRE% con el cambio en el contenido de humedad de una muestra a una temperatura específica (Bohorquez et al., 2016). Las isotermas de sorción de los alimentos generalmente no son lineales y, a menudo, tienen forma sigmoidea. La diferencia entre los valores de actividad de agua (a_w) entre las curvas de adsorción y desorción de los granos (para los mismos valores de temperatura y humedad relativa) se denomina histéresis (Al-Muhtaseb et al., 2002). Esta diferencia siempre está a favor del valor de desorción y aunque existen teorías complejas para explicarlo (Fontana Jr. & Carter, 2020) una de las más reconocidas es el daño térmico a las estructuras celulares del grano causado en las operaciones de secado. La histéresis frecuentemente no es detectable a altas temperaturas ($\sim 80^\circ\text{C}$) y generalmente se hace más evidente cuando bajan las temperaturas (Damodaran & Parkin, 2017).

El agua tiene diferentes roles dentro de la composición de los alimentos, puede actuar como solvente, reactivo o puede cambiar la movilidad de los reactantes. Es por esta razón que la actividad de agua influye en la velocidad de las reacciones; para el caso de las asociadas al oscurecimiento no enzimático como la reacción de Maillard (Saltmarch & Labuza, 1982), el contenido de agua se relaciona con el desarrollo de la misma durante el proceso de tueste de café. Cuando se realiza el proceso de secado en café se disminuye la actividad de agua, lo que genera la concentración de los compuestos químicos del grano. Al reducir aún más el agua obteniendo valores de a_w inferiores a 0,6, se pierde movilidad de estos compuestos y se inhibe la formación de melanoidinas, por ello, en alimentos muy concentrados con azúcares, es más factible la caramelización que la reacción de Maillard (Badui Dergal, 2016). Durante el proceso de

tueste del café y con el fin que se favorezca el pardeamiento no enzimático (Maillard), se necesita suficiente agua para que los solutos se disuelvan, se difundan y reaccionen, una actividad de agua inferior a 0,6 reduce la velocidad de la misma.

El contenido de humedad de equilibrio de un producto depende de muchos factores como la humedad relativa, la temperatura del ambiente, el tipo de producto y las condiciones de almacenamiento (Trejos et al., 1989). Aunque, actualmente los límites de la actividad de agua para asegurar la inocuidad de los alimentos son conocidos, poco se sabe del comportamiento de este parámetro cuando el café cumple con el contenido de humedad exigido (10% al 12%). Por lo tanto, no es claro el efecto de los anteriores factores descritos y su posibilidad de generar valores que superen los límites que aseguran la inocuidad del café. Hasta el momento, el principal criterio para la comercialización y descripción del comportamiento de la vida útil del café durante el almacenamiento es el porcentaje de humedad y existe la discusión acerca de los valores de actividad de agua en café pergamino seco y excelso, y si estos podrían convertirse en un criterio complementario para aceptar compras de café que cumplan con el contenido de humedad. Por tal motivo, se determinó el rango de los valores de la actividad de agua para café pergamino seco y excelso que cumplieran con el porcentaje de humedad requerido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la investigación se obtuvieron 400 muestras de café (unidad de muestreo), de las cuales 200 correspondieron a café pergamino seco (cps) y 200 a café excelso. Las muestras de cps fueron obtenidas en los puntos de compra al caficultor de las Cooperativas de Caficultores de Caldas-Colombia, en los municipios de Chinchiná

y Manizales. Las 200 muestras de café excelso fueron obtenidas de diferentes lotes en los puntos de trilla de dichas Cooperativas y Almacafé.

Análisis físico y sensorial

El análisis físico incluyó la realización y valoración del examen visual y olfativo de las muestras, proporción de defectos y almendra sana para el café pergamino seco y densidad para el café excelso, según la norma técnica NTC2324 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021). En el análisis de la calidad física del café pergamino seco se midió el contenido de humedad, el porcentaje de merma, pasilla, granos negros y vinagres, granos brocados y porcentaje de almendra sana. La densidad para café excelso se determinó según la norma ISO 6669 (International Organization for Standardization, 1995). Para el análisis sensorial, se utilizó el protocolo SCA (Specialty Coffee Association), con cinco catadores certificados Q Grader por el CQI (Coffee Quality Institute), que pertenecen al panel sensorial del Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé); con esta metodología se registraron diez atributos del sabor del café: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor, puntaje catador, defectos y calidad sensorial, expresada como puntaje total SCA. A través de la metodología de consenso entre los cinco catadores se obtuvo un solo resultado por cada muestra analizada.

Actividad de agua y contenido de humedad

La actividad de agua se determinó con el equipo Lab Master Neo (Novasina, Alemania), con control de temperatura. Para el uso de este equipo fue necesario realizar una validación de los diferentes procedimientos de mediciones con muestras procedentes del mismo lote, con el mismo operador, en el mismo lugar

y en intervalos cortos de tiempo, eligiendo el procedimiento óptimo para obtener los resultados de la investigación. Se eligió el método manual donde el equilibrio del valor no es limitado por el tiempo de medición y la estabilidad de la lectura se lograba cuando la variación no superaba $\pm 0,003$ durante dos minutos con control de temperatura de medición (25°C).

El contenido de humedad se verificó por el método directo estándar, según la norma ISO 6673 a 105°C (International Organization for Standardization, 2003). Para cada muestra se tomó el promedio de tres mediciones, tanto de actividad de agua como para su respectivo contenido de humedad.

Composición química

La determinación de la composición química se realizó mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS), se estimaron los contenidos de cafeína, trigonelina, ácidos clorogénicos totales, lípidos totales y sacarosa presentes en el café verde de las muestras. El análisis de las muestras se realizó en el equipo NIRS XDS RCA (2012) de FOSS, ubicado en el laboratorio de instrumental de Cenicafé. Las muestras fueron leídas en un rango de longitud de onda del 400 nm – 2490 nm. Se pesaron 110 g de café en grano entero y se colocaron en dos celdas para reflectancia de transporte rectangular. Con la información espectral de las muestras, se procedió a realizar la determinación química de los compuestos mencionados a través de los modelos de calibración previamente desarrollados; para conocer la exactitud de los modelos, se determinó el error relativo de predicción el cual permite conocer la diferencia entre el valor real (obtenido por el método de referencia) y el valor obtenido por la técnica NIRS el error relativo (%) de predicción de cafeína fue de 0,015, trigonelina 0,027, ácidos clorogénicos

totales 0,007, lípidos totales 0,003 y sacarosa 0,007 (Gómez et al., 2023).

Análisis de información

Se determinó el promedio de la actividad de agua, con su respectivo intervalo, con un coeficiente de confianza del 95% para las muestras de cps y de café excelso que cumplieran con un contenido de humedad entre el 10% y 12%. Se aplicó una prueba t de muestras emparejadas al 5%, para determinar si la humedad del café pergamino era diferente a la humedad de café almendra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad física y sensorial

Los resultados de la calidad física de las muestras de cps, obtenidas directamente del procesamiento del productor en el punto de compra, se presentan en la Tabla 1. El valor promedio de la merma, que representa la cantidad de endocarpio (pergamino), fue de 18,8% y estuvo en el rango establecido comercialmente (<20%). Con respecto a los contenidos de granos negros y vinagres, que son defectos físicos que se clasifican en el primer grupo por su efecto directo y negativo en la calidad física y sensorial, presentaron un valor promedio de 1,2% y se encontraron

valores máximos de 6,8%. El comportamiento fue similar para los granos brocados, que presentaron valores máximos de 21,4%. Estas variables pueden presentar estos valores máximos, puesto que provienen de muestras obtenidas directamente en el punto de compra y corresponden a prácticas individuales a nivel de finca, en diferentes etapas de la época de cosecha y donde es posible que no se realicen las clasificaciones recomendadas durante el proceso de beneficio, afectando la calidad final del café (Osorio, 2021; Montilla et al., 2008).

La proporción de almendra sana que se define como la cantidad de granos sanos, sin tener en cuenta el porcentaje de merma, obtuvo en las muestras evaluadas un promedio general de 73,8%, cercano al valor promedio nacional que se estima en 74,0%. Valores superiores indican una mejor calidad física y en esta investigación se encontraron valores máximos de 81,3%.

Para las muestras de café excelso se determinaron los valores de densidad aparente con un promedio de 702,9 g L⁻¹; Montilla et al. (2008) reportaron para café almendra clasificado y sin clasificar valores de densidad aparente de 709,99 g L⁻¹ y 707,31 g L⁻¹, respectivamente. En la Tabla 1, se relacionan además de los valores de densidad, las variables asociadas a la calidad física del café analizado.

Tabla 1. Calidad física del café pergamino seco y densidad del café almendra.

Variables de calidad física	Valores observados			
	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Merma (%)	18,8	1,7	16,3	30,1
Negros y vinagres (%)	1,2	1,3	0,0	6,8
Granos brocados (%)	3,1	3,0	0,0	21,4
Pasilla (%)	3,9	2,6	0,3	14,7
Almendra sana (%)	73,8	6,2	42,7	81,3
Densidad café almendra (g L ⁻¹)	702,90	14,34	675,62	738,98

En cuanto a la calidad sensorial el 78% de las muestras no presentaron defectos sensoriales, el defecto que se presentó en mayor proporción fue el fermento (9,0%) y en menor proporción fueron el acre, reposo y contaminado, cada uno con el 1,0% (Figura 1). El fermento está asociado a sabores de pulpa descompuesta con predominancia de acidez tipo “agria” y el terroso a sabores dentro del rango de tierra con disminución de la limpieza del sabor residual y asociado a prácticas como la interrupción del secado (Pabón & Osorio, 2022). El inmaduro pertenece al grupo de los ásperos, presenta sabores residuales astringentes sin pleno desarrollo del sabor y dulzor característico de la bebida de café. Estos tres defectos sensoriales coinciden con los encontrados en diferentes zonas del país, lo que implicaría que son frecuentes a nivel de fincas productoras por prácticas inadecuadas de poscosecha (Osorio et al., 2021).

Para las muestras sin defectos sensoriales, en la Tabla 2 se presentan los resultados promedio de los atributos evaluados empleando

la metodología SCA. El atributo con mayor puntaje promedio fue la fragancia/aroma (7,47) seguido de la acidez y el cuerpo que presentaron igual valor promedio.

En la metodología SCA el puntaje total se configura desde la sumatoria de los valores individuales dados a cada uno de los atributos. La SCA clasifica el café de especialidad en rangos de la siguiente manera: < 80 café no especial, 80,00-84,99 muy bueno, 85,00-89,99 excepcional, entre 90,00 y 100 sobresaliente. El valor promedio de las muestras fue de 81,49 con valor máximo de 84,92, este último se encuentra en el rango de cafés de especialidad muy buenos. La calidad sensorial indicó una distribución similar en los rangos de calidad para el café pergamino seco (cps) y el café excelso, con la mayor proporción de muestras en el intervalo de puntaje total de 80,00 a 81,50. Del total de muestras evaluadas el 3,90% y el 5,06% de café pergamino seco y excelso obtuvieron valores superiores a 83,50 puntos, respectivamente (Tabla 3).

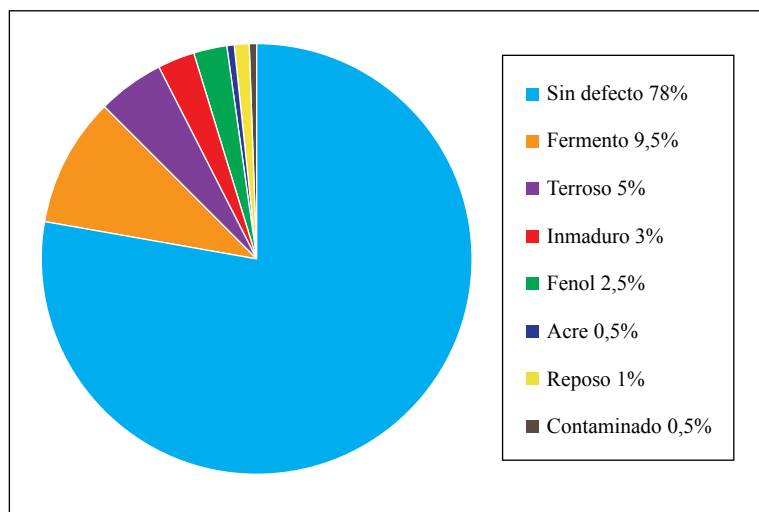


Figura 1. Calidad sensorial de las muestras evaluadas.

Tabla 2. Valores promedio, mínimo, máximo y desviación estándar de los atributos de calidad sensorial.

Atributo	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Estándar
Fragancia/aroma	7,47	6,9	8,00	0,18
Sabor	7,34	7,0	7,83	0,17
Sabor residual	7,28	7,0	7,80	0,15
Acidez	7,37	7,0	7,95	0,20
Cuerpo	7,37	7,1	7,75	0,14
Balance	7,32	7,0	7,83	0,17
Puntaje catador	7,32	7,0	7,92	0,19
Puntaje total	81,49	79,3	84,92	1,08

Tabla 3. Proporción de muestras por rango del puntaje total obtenido en los análisis sensoriales.

Tipo de café	Rango del puntaje final				
	79,0	80,0-81,5	81,5-82,5	82,5-83,5	>83,5
Café pergamino seco	5,19%	49,35%	27,27%	14,29%	3,90%
Café excelso	5,06%	53,16%	22,78%	13,92%	5,06%

Porcentaje de humedad y actividad de agua del café pergamino seco

En el café pergamino seco se determinó el contenido de humedad en el grano completo, es decir, con el endocarpio. Posteriormente, este se retiró mediante la trilla, dejando el café almendra, y nuevamente se midió el contenido de humedad con el fin de establecer si existían diferencias en la medición de las muestras de café, siguiendo el mismo procedimiento. El

promedio de la diferencia de humedad fue de 0,21% con un intervalo entre 0,14% y 0,27%. Dicha diferencia, es estadísticamente mayor de cero ($p < 0,0001$) según prueba t de muestras emparejadas al 5%, indicando mayor humedad cuando se mide en el café almendra con respecto al café pergamino seco. Menores contenidos promedio del porcentaje de humedad en el cps pueden estar asociados a la composición de la cascarilla del café pergamino con mayores contenidos de celulosa.

De las muestras analizadas, en café pergamino seco, el 60,0% estuvieron en el rango óptimo de humedad (10%-12%) y el 40,0% están por fuera de este intervalo (Tabla 4). Lo anterior podría indicar que se hace necesario un mayor conocimiento del parámetro a nivel de finca, para asegurar que el café se encuentra en el rango de contenido de agua necesario, evitando la configuración de posibles defectos físicos como el grano flojo para el café húmedo o cristalizado para el café sobresecado, a medida que se asegura la vida útil del mismo.

Las muestras de café pergamino seco evaluadas presentaron un valor promedio de contenido de humedad de 11,05%, que a su vez correspondió a un valor promedio de actividad de agua de 0,6184 (Tabla 4), que corresponde a valores inferiores a aquellos donde ocurre para la producción de OTA. El intervalo de a_w para la producción de OTA es más estrecho que el necesario para el crecimiento de los hongos responsables de su producción. Según Esteban et al. (2006) los valores para producción de OTA oscilan entre 0,90 y 0,99, dependiendo de la cepa y del medio de cultivo.

Las condiciones de a_w y temperatura son factores limitantes importantes para el crecimiento de la cepa fúngica toxigénica y la producción de ocratoxina. Estas a su vez pueden variar en función del sustrato. Oliveira et al. (2019) no observaron diferencias entre el crecimiento de *A. carbonarius* y *A. ochraceus* y las mejores condiciones obtenidas, para medios de cultivo de café, fueron una temperatura promedio de 30°C y a_w alrededor de 0,99. En la Figura 2 se muestran los resultados de los rangos de humedad y de actividad de agua para las diferentes muestras de café. En esta se observa que, aún para contenidos de humedad con límite superior de 12,92% el valor de actividad de agua equivale a 0,6747 que corresponde a valores de seguridad, pues está por debajo de 0,7. Para el caso del pergamino, esta condición se cumple cuando se realizan procedimientos de seguimiento en el proceso de secado, que aseguran un contenido de humedad que se encuentra en el rango del 10% al 12%.

Porcentaje de humedad y actividad de agua del café excelso

Las muestras de café excelso no presentaron porcentajes de humedad inferiores al 10% y

Tabla 4. Rangos de humedad y valores de actividad de agua para café pergamino seco.

Rango de Humedad (%)	Proporción de muestras (%)	Humedad (%)			Actividad de Agua		
		Promedio	Lím. Inf.	Lím.Sup.	Promedio	Lím. Inf.	Lím. Sup.
< 10%	19,0	9,23	8,80	9,67	0,5380	0,5158	0,5603
10% – 12%	60,0	11,05	10,90	11,20	0,6184	0,6118	0,6251
> 12%	21,0	12,69	12,45	12,92	0,6747	0,6636	0,6859

solo el 3,0% presentaron valores superiores al 12%, lo que implica un mayor porcentaje de muestras en el rango óptimo de humedad en comparación con el café pergamino seco. Lo anterior puede explicarse por un mayor control del contenido de humedad del café que se procesa en la trilla industrial. Este contenido puede variar en etapas posteriores como el almacenamiento y el transporte. En un estudio de Palacios-Cabrera et al. (2007), donde controlaron cambios de temperatura, humedad relativa y contenido de humedad de los granos de café almendra verde durante el transporte, evidenciaron una mayor variación en el contenido de humedad en las capas superiores de los sacos de café (2% a 3%), mientras que la actividad del agua aumentó hasta valores de 0,70. Durante el almacenamiento, las zonas cercanas a la pared y al techo son susceptibles a la condensación y es por esta razón que el café situado en la parte superior es más susceptible a la producción de ocratoxina A. Por su lado, Akbar & Magan (2014), aislaron dos nuevas especies de *Aspergillus* (*A. aculeatinus* y *A. sclerotii carbonarius*) en café en Tailandia, y ninguna de las dos especies creció en valores de a_w de 0,85, independiente de la temperatura.

Por este motivo, es importante que dentro de las estrategias de poscosecha, se generen recomendaciones asociadas a la disminución rápida de la humedad y control del contenido final en el grano y su respectiva conservación en toda la cadena de comercialización.

El 97,0% de las muestras de excelso estuvieron en el rango óptimo de humedad, con un valor promedio de 11,34%, que correspondió a un valor de actividad de agua de 0,6175 en promedio. En la Tabla 5 y en la Figura 2 se muestran los resultados para los rangos de humedad y de actividad de agua para cada una de las matrices evaluadas. Pardo et al. (2005) estudiaron la influencia de la actividad del agua y de la temperatura sobre la germinación y el crecimiento micelial de tres aislados ocratoxigénicos de *A. ochraceus*, observando que las condiciones óptimas para la germinación y el crecimiento fueron de 0,95-0,99 a_w y 20°C-30 °C. La germinación y el crecimiento de *A. ochraceus* en los granos de café verde podrían prevenirse o inhibirse a medida que se reduce al mínimo el tiempo en que los granos de café están expuestos a estas condiciones de temperatura y humedad durante el procesamiento y el almacenamiento.

Tabla 5. Rangos de humedad y valores de actividad de agua para café excelso.

Rango de Humedad (%)	Proporción de muestras (%)	Humedad (%)			Actividad de Agua		
		Promedio	Lím. Inf.	Lím.Sup.	Promedio	Lím. Inf.	Lím. Sup.
< 10%	0,0	-	-	-	-	-	-
10% – 12%	97,0	11,34	11,28	11,39	0,6175	0,6147	0,6204
> 12%	3,0	12,10	12,05	12,14	0,6546	0,6532	0,6560

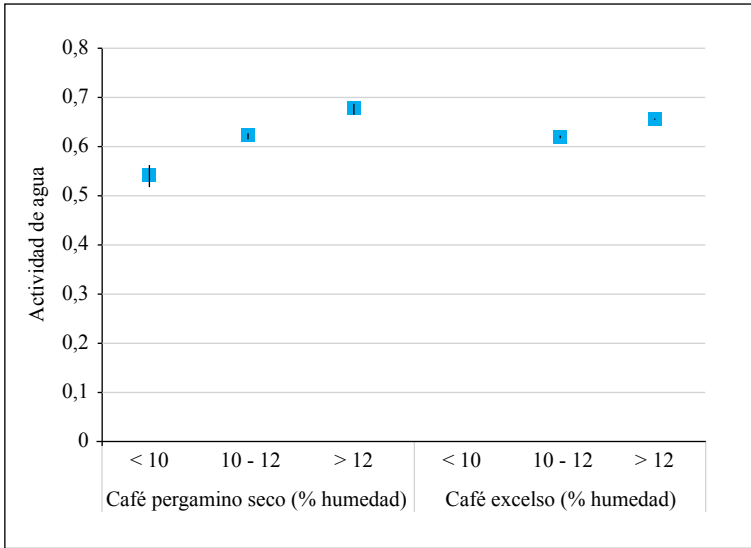


Figura 2. Valores de la actividad de agua según el contenido de humedad del café pergamino seco y café excelso.

Modelos de predicción de actividad de agua para café pergamino y café excelso

La precisión en la medición de la actividad de agua depende de varios factores: la técnica de medición, calibración de la técnica, estabilidad de la temperatura durante la medición, el proceso, el equilibrio de vapor y la muestra (Barbosa-Cánovas et al., 2008). Lo anterior, también es necesario para la determinación del porcentaje de humedad de las muestras, es por esta razón que estos métodos de estimación deben calibrarse con métodos primarios, con el fin de asegurar los requisitos específicos antes de que puedan utilizarse. Una medición incorrecta de humedad podrá generar valores de actividad de agua que no tengan relación con el contenido de humedad, generando una falsa incertidumbre. Es por este motivo que los determinadores de humedad deben estar calibrados, para asegurar la validez de los datos obtenidos (Mendonça et al., 2007). Diferentes investigadores han estudiado el comportamiento higroscópico de varios productos agrícolas, especialmente de granos, describiendo con

modelos matemáticos diferenciados para expresar el contenido de humedad en función de la temperatura y la actividad de agua (García et al., 2011; Sun & Woods, 1993). Goneli et al. (2013) determinaron para frutos de café y café almendra, modelos matemáticos para estimar los valores de actividad de agua a temperaturas de rangos de 10°C a 50°C y se basaron en los modelos matemáticos teóricos (BET, GAB), encontrando ajustes del coeficiente de determinación R^2 superiores al 97%.

En este estudio, no se determinaron las curvas de sorción, sin embargo, se logró ajustar una expresión matemática para describir la relación funcional entre las variables del contenido de humedad de café y la actividad de agua, esta expresión permite determinar para la matriz de café pergamino seco y excelso los valores de actividad de agua, conociendo la humedad del producto expresada en base húmeda. Las expresiones fueron ajustadas de la forma como se presenta en la Ecuación <2>:

$$a_w = \alpha + \beta H \quad <2>$$

Donde, a_w y H , son la actividad de agua y humedad en porcentaje, respectivamente; y $\alpha + \beta$ son el intercepto y coeficiente de regresión.

En la Tabla 6 se ilustra el ajuste de la función para cada matriz con su respectivo coeficiente de determinación. Los coeficientes de regresión, indican que, por cada 1,0% de humedad, la actividad de agua aumenta en 0,03953 para café pergamino seco y 0,04234 para excelso. Menores valores de R^2 en el café excelso pueden estar asociados a que las muestras provienen de la mezcla de diferentes lotes de café pergamino seco, lo que puede aumentar la variabilidad de las mediciones realizadas.

Con el fin de conocer la estructura del grano y la posible distribución del agua dentro del mismo, se analizaron muestras con diferente contenido de humedad y valor de actividad de agua a través del SEM (Microscopía Electrónica de Barrido). Este es uno de los métodos mejor adaptados para el estudio de la morfología de las superficies, pues a diferencia de un microscopio óptico que utiliza fotones del espectro visible, la imagen se genera por la interacción de un haz de electrones que "barre" un área determinada sobre la superficie de la muestra. En la Figura 3 se observa que aun teniendo valores diferentes de a_w la estructura del grano es similar. Estrada-Bahena et al. (2022), almacenaron granos de café por 60 días con diferentes valores de actividad de agua a 35°C y emplearon la técnica de SEM para evaluar la morfología interna del grano después del tiempo de almacenamiento, concluyeron que cuando se almacena café a bajos valores de a_w no se aprecian considerables cambios en la morfología; sin embargo, cuando se almacenaban en rangos de a_w de 0,743 y 0,821, se presentaron cambios de volumen y en la rugosidad superficial en el endospermo,

los cuales según los autores están relacionados con la presencia de contaminación fúngica.

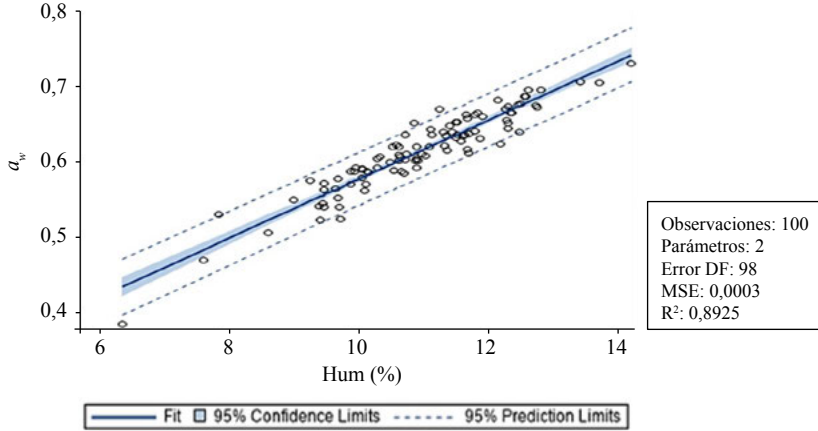
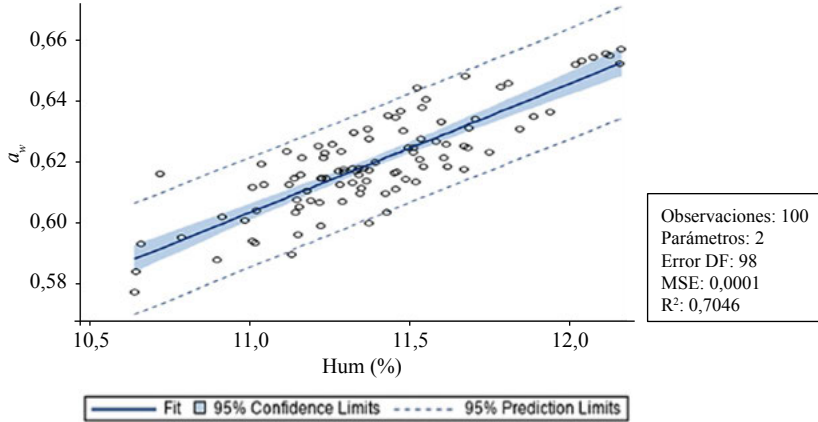
Para el café se ha definido que el porcentaje de humedad del grano que se encuentre en un rango del 10% al 12% cumple con las condiciones para su almacenamiento, trilla, transporte y procesamiento. Este se definió como un nivel de humedad seguro, pues es lo suficientemente bajo como para prevenir el crecimiento de microorganismos indeseables, asegurando la inocuidad del mismo. El nivel máximo de humedad seguro de un alimento se basa en su actividad de agua, para el caso de los cafés pergamino seco y excelso, que cumplen con el rango establecido de contenido de humedad, se encontraron límites superiores de actividad de agua de 0,6184 y 0,6175, respectivamente. Estos valores permiten considerar el café seco un producto que no favorece la proliferación de microorganismos indeseables (Barbosa-Cánovas et al., 2008).

Composición química del café

En la Tabla 7 se presentan los valores promedio y la desviación estándar obtenidos para los siguientes compuestos químicos: ácidos clorogénicos, cafeína, lípidos, sacarosa y trigonelina, de las 400 muestras analizadas. Todos los compuestos químicos estuvieron dentro de los rangos reportados para el café almendra verde, lo que indica que los diferentes valores de actividad de agua y de contenido de humedad del café, en los rangos evaluados, no afectan significativamente la composición de los compuestos químicos, previo a su almacenamiento y transporte.

Gallego & Rodríguez (2021) reportan en el defecto sensorial reposo, que es asociado a largos tiempos de almacenamiento, diferencias significativas en el contenido de lípidos con valores de 11,87% y 11,0% para el café con y sin defecto sensorial, respectivamente.

Tabla 6. Modelos para la estimación de actividad de agua en café.

Matriz	Ecuación de estimación	R ²	Modelo de estimación de actividad de agua
Café pergamino seco	$a_w = 0,17822 + 0,03953H$	0,89	 <p>Observaciones: 100 Parámetros: 2 Error DF: 98 MSE: 0,0003 R²: 0,8925</p>
Café excelso	$a_w = 0,13778 + 0,04234H$	0,70	 <p>Observaciones: 100 Parámetros: 2 Error DF: 98 MSE: 0,0001 R²: 0,7046</p>

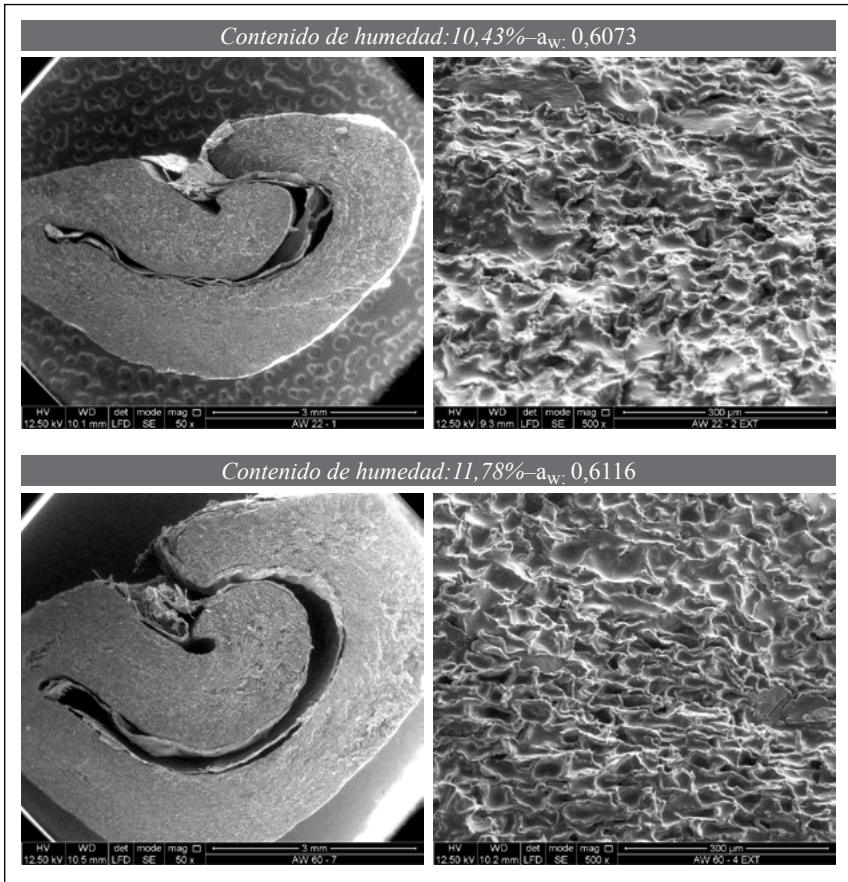


Figura 3. Imágenes de café tomadas por el SEM con diferentes valores de actividad de agua.

Tabla 7. Valores promedio obtenidos para los compuestos químicos de café almendra por la técnica NIRS.

Compuesto	Promedio (%)	Desviación estándar (%)	Rango para café arábica	Fuente
Ácidos clorogénicos totales	5,873	0,134	5,5 – 8,0	Osorio et al., (2023)
Cafeína	1,207	0,057	0,9 – 1,2	Osorio et al., (2023)
Lípidos totales	14,78	0,369	12,0 – 18	Echeverri et al. (2020)
Sacarosa	6,876	0,180	6,25 – 8,45	Osorio et al., (2023)
Trigonelina	0,968	0,057	1,0 – 1,2	Osorio et al., (2023)

Puede concluirse que para el café pergamino seco y el grano excelso bajo las mismas condiciones ambientales, cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la actividad de agua. El proceso de secado de café que asegura contenidos de humedad comprendidos entre el 10% al 12%, elimina el agua en fase líquida, lo que disminuye su movilidad, permitiendo de esta manera que los valores de actividad de agua sean inferiores, en ambos casos, a 0,62. Por tal motivo, el porcentaje de humedad continúa siendo uno de los indicadores de mayor importancia en la medición de la calidad fisicoquímica del café para el proceso de comercialización. Este define la vida útil de un producto y el comportamiento del mismo durante el almacenamiento bajo condiciones óptimas, y aunque, actualmente se ha generado una tendencia para realizar la medición del indicador de actividad de agua (a_w), para este estudio, se encontraron valores de actividad de agua inferiores a 0,62 cuando el porcentaje de humedad se hallaba en el rango adecuado y era medido con equipos confiables.

AGRADECIMIENTOS

A los compañeros de la Disciplina de Calidad Paola Calderón, Wilson Vargas y Claudia Gallego. A Rubén Medina y Esther C. Montoya de la Disciplina de Biometría. A Julio César Díaz y Antonio Restrepo Gerentes Cooperativas de Caficultores de Caldas y Trillacoop. Henry Martínez de Gerencia Comercial FNC y a Fernando Osorio y Jhon E. Espitia y de la Oficina de Calidades de Almacafé. Esta investigación fue financiada por recursos propios Cenicafé, proyecto número CAL105002.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Redacción-borrador original: V.O.P.; Análisis formal, Metodología, Validación: V.O.P. y J.P.U.; Redacción- revisión y edición: V.O., J.P. y C.R.G.; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.




LITERATURA CITADA

- Akbar, A., & Magan, N. (2014). The impact of water and temperature interactions on lag phase, growth and potential ochratoxin A production by two new species, *Aspergillus aculeatinus* and *A. sclerotii carbonarius*, on a green coffee-based medium. *International Journal of Food Microbiology*, 188, 116–121. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.025>
- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Food and Bioproducts Processing*, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Badui Dergal, S. (2016). *Química de los alimentos* (4a ed.). Pearson Educación. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3608>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., & Labuza, T. P. (Eds.). (2008). *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470376454>
- Bohórquez, C., García, O., Sánchez, T., & Pinzón, M. (2016). Isotermas de sorción de almendras de café de cuatro orígenes almacenadas en dos tipos de empaque. *Revista Alimentos Hoy*, 24(39), 85–91.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5a ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Echeverri, L. F., Ortiz, A., Gallego, C. P., & Imbachí, L. C. (2020). Caracterización de la fracción lipídica del café verde en variedades mejoradas de *Coffea arabica* L. *Revista Cenicafé*, 71(2), 39–52. <https://doi.org/10.38141/10778/71203>
- Esteban, A., Abarca, M. L., Bragulat, M. R., & Cabañes, F. J. (2006). Effect of water activity on ochratoxin A production

- by *Aspergillus niger* aggregate species. *International Journal of Food Microbiology*, 108(2), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.12.002>
- Estrada-Bahena, E. B., Salazar, R., Ramírez, M., Moreno-Godínez, Ma. E., Jiménez-Hernández, J., Romero-Ramírez, Y., González-Cortázar, M., & Alvarez-Fitz, P. (2022). Influence of water activity on physical properties, fungal growth, and ochratoxin A production in dry cherries and green-coffee beans. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(2), e16226. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16226>
- Fontana, A. J., & Carter, B. P. (2020). Measurement of Water Activity, Moisture Sorption Isotherm, and Moisture Content of Foods. En G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods* (pp. 207–226). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch8>
- Gallego, C. P., & Rodríguez-Valencia, N. (2021). Identificación de algunas variables fisicoquímicas y microbiológicas asociadas con el defecto reposo en el café. *Revista Cenicafé*, 72(1), e72105. <https://doi.org/10.38141/10778/72105>
- García, D., Ramos, A. J., Sanchis, V., & Marín, S. (2011). Modelling the effect of temperature and water activity in the growth boundaries of *Aspergillus ochraceus* and *Aspergillus parasiticus*. *Food Microbiology*, 28(3), 406–417. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.004>
- Gómez, C. R., Gallego, C. P., Echeverri, L. F., Pabón, J., Ortiz, A., & Osorio, V. (2023). Determinación de compuestos químicos del café tostado por Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS). *Revista Cenicafé*, 74(1), e74104. <https://doi.org/10.38141/10778/74104>
- Goneli, A. L. D., Corrêa, P. C., Oliveira, G. H. H., & Júnior, P. C. A. (2013). Water sorption properties of coffee fruits, pulped and green coffee. *LWT—Food Science and Technology*, 50(2), 386–391. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.006>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). NTC 2324:2021 *Café verde. Examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-examen-olfativo-y-visual-y-determinacion-de-materia-extrana-y-defectos-ntc2324-2021.html>
- International Organization for Standardization. (1995). ISO 6669:1995. *Green and roasted coffee—Determination of free-flow bulk density of whole beans (Routine method)*. <https://www.iso.org/standard/13098.html>
- International Organization for Standardization. (2003). ISO 6673:2003—*Green coffee—Determination of loss in mass at 105 degrees C*. <https://www.iso.org/standard/38375.html>
- Kumar, D., & Kalita, P. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- Labuza, T. P. (1980). Effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. *Food Technology*, 34, 36–41.
- Labuza, T. P. (1975). Interpretation of Sorption Data in Relation to the State of Constituent Water. En R. B. Duckworth (Ed.), *Water Relations of Foods* (pp. 155–172). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-223150-6.50014-6>
- Mannaa, M., & Kim, K. D. (2017). Influence of Temperature and Water Activity on Deleterious Fungi and Mycotoxin Production during Grain Storage. *Mycobiology*, 45(4), 240–254. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2017.45.4.240>
- Mendonça, J. C. F., Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2007). A comparative evaluation of methodologies for water content determination in green coffee. *LWT—Food Science and Technology*, 40(7), 1300–1303. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.08.013>
- Montilla, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya-Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena-Gómez, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Revista Cenicafé*, 59(2), 120–142. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)
- Oliveira, G., Evangelista, S. R., Passamani, F. R. F., Santiago, W. D., Cardoso, M. D. G., & Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT*, 102, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Osorio, V. (2021). La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3a ed., pp. 219–234). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12
- Osorio, V., Matallana Pérez, L. G., Fernandez-Alduenda, M. R., Alvarez Barreto, C. I., Gallego Agudelo, C. P., & Montoya Restrepo, E. C. (2023). Chemical Composition and Sensory Quality of Coffee Fruits at Different

- Stages of Maturity. *Agronomy*, 13(2), 341. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020341>
- Pabón, J., & Osorio, V. (2022). Efecto de la interrupción del secado mecánico en la calidad física y sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(2), e73201. <https://doi.org/10.38141/10778/73201>
- Palacios-Cabrera, H. A., Menezes, H. C., Iamanaka, B. T., Canepa, F., Teixeira, A. A., Carvalhaes, N., Santi, D., Leme, P. T. Z., Yotsuyanagi, K., & Taniwaki, M. H. (2007). Effect of Temperature and Relative Humidity during Transportation on Green Coffee Bean Moisture Content and Ochratoxin A Production. *Journal of Food Protection*, 70(1), 164–171. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-70.1.164>
- Pardo, E., Ramos, A., Sanchis, V., & Marín, S. (2005). Modelling of effects of water activity and temperature on germination and growth of ochratoxigenic isolates of on a green coffee-based medium. *International Journal of Food Microbiology*, 98(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.05.003>
- Puerta, G. I. (2006). La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 352, 1–8. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/418>
- Saltmarch, M., & Labuza, T. P. (1982). Nonenzymatic Browning via the Maillard Reaction in Foods. *Diabetes*, 31(Supplement_3), 29–36. <https://doi.org/10.2337/diab.31.3.S29>
- Sun, D.-W., & Woods, J. L. (1993). The Moisture Content/Relative Humidity Equilibrium Relationship Of Wheat—A Review. *Drying Technology*, 11(7), 1523–1551. <https://doi.org/10.1080/07373939308916918>
- Trejos, R., Roa, G., & Oliveros, C. E. (1989). Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. *Revista Cenicafé*, 40(1), 5–15. <http://hdl.handle.net/10778/841>

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA DE HÍBRIDOS DE MAÍZ INTERCALADOS CON CAFÉ

Santiago Jaramillo Cardona *, Rubén Darío Medina Rivera **, Alexander Jaramillo Jiménez *

Jaramillo, S., Medina-Rivera, R., & Jaramillo-Jiménez, A. (2024). Evaluación del efecto de la densidad de siembra de híbridos de maíz intercalados con café. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75105. <https://doi.org/10.38141/10778/75105>



La producción de maíz intercalado en las calles del café durante la fase de levante ha sido una práctica recomendada por Cenicafé para promover la seguridad alimentaria, generar ingresos complementarios y aumentar la sostenibilidad de los sistemas de producción cafetera. Con el objetivo de evaluar el efecto de la densidad de siembra del híbrido de maíz blanco biofortificado con zinc SGBIOH2 sobre la producción de dos ciclos de maíz intercalado y sobre la producción acumulada de dos cosechas de café, se realizó una investigación en cuatro estaciones experimentales de Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) y El Tambo (Cauca). El experimento fue establecido mediante un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz intercalado (45.000, 50.000, 55.000 y 60.000 plantas por hectárea) y un testigo absoluto en donde no se sembró maíz, que fueron evaluados en nueve bloques por localidad en parcelas de 48 m². Los rendimientos de maíz híbrido intercalado incrementaron linealmente en todas las localidades al aumentar la densidad de siembra de 45.000 a 60.000 plantas por hectárea ($Pr > F = 0,0001$). La producción de café no se afectó por ninguno de los tratamientos de densidad de siembra de maíz ($Pr > 0,05$), lo que indica una baja competencia de los dos cultivos. Así mismo, la calidad física del café representada en la relación café cereza/café pergamino seco y en el factor de rendimiento en trilla tampoco se vio afectada por ninguno de los tratamientos de densidad evaluados.

Palabras clave: Intercalamiento, seguridad alimentaria, diversificación de cultivos, maíz, café, Cenicafé, Colombia.

EVALUATION OF THE EFFECT OF PLANTING DENSITY OF MAIZE HYBRIDS INTERCROPPED WITH COFFEE

The production of maize intercropped with coffee during the establishment stage has been a common practice recommended by Cenicafé to promote food security, generate complementary income and increase the sustainability of coffee production systems. With the objective of evaluating the effect of different planting densities of the white maize hybrid SGBIOH2 biofortified with zinc on the production of two cycles of intercropped maize and on the accumulated production of two coffee harvests, a research was carried out in four experimental stations of Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) and El Tambo (Cauca). The experiment was established through a randomized complete block design with four intercropped maize planting density treatments (45,000, 50,000, 55,000 and 60,000 plants per hectare) and an absolute check without maize, which were evaluated in nine repetitions per location in 48 m² plots. Intercropped hybrid maize yields increased linearly in all locations as planting density increased from 45,000 to 60,000 plants per hectare ($Pr > F = 0.0001$). Coffee production was not affected by any of the maize planting density treatments ($Pr > 0.05$), indicating low competition of the two crops. Likewise, the physical quality of the coffee represented in the cherry coffee/dry parchment coffee ratio and milling yield factor was not affected by any of the density treatments evaluated.

Keywords: Intercropping, food security, crop diversification, maize, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II y Auxiliar de Investigación, respectivamente. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-3342-995X>, <https://orcid.org/0000-0003-4580-1613>

** Investigador Científico II. Disciplina de Biometría, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0002-9753-9613>



El intercalamiento es una práctica agrícola que involucra a dos o más especies vegetales creciendo juntas o cohabitando por un tiempo definido (Brooker et al., 2015), a su vez la práctica de sembrar cultivos intercalados ofrece importantes ventajas en lo concerniente al uso eficiente del suelo, debido principalmente al aumento de la productividad y a los retornos económicos derivados del uso eficiente de los recursos en comparación al monocultivo (Guvenc & Yildirim, 2006). Para el caso del cultivo del café, la siembra de cultivos intercalados como el maíz y el frijol representa una buena opción para reducir los costos de establecimiento del cafetal pues al tener un ciclo corto ofrecen un rápido retorno económico y aumentan la eficiencia en la mano de obra al compartir labores que benefician a ambos cultivos (Duque-Orrego et al., 2021).

En Colombia, el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz, a pesar de ello, es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo. La producción de maíz aumentó 76% entre 1961 y 2016, mientras que la demanda creció a un ritmo más acelerado que la producción. En 2012, se alcanzó un máximo histórico de producción de 1,8 Mt (millones de toneladas). De acuerdo con información del año 2016, la producción cayó a 1,6 Mt. En este mismo año, se importó el 74% de la demanda nacional, es decir 4,6 Mt de las 6,2 Mt que se requieren en el país, de mantenerse dicha tendencia, se espera que la producción crezca alrededor del 6% y la demanda en 9% entre 2018 y 2030 (Govaerts et al., 2019). En las fincas cafeteras la producción competitiva de maíz biofortificado intercalado en las calles del café en lotes renovados por siembra o por zoca, es una práctica que aumenta la sostenibilidad económica, social y ambiental de los sistemas de producción ya que representa una fuente de ingresos

adicionales con la que se pueden sufragar gran parte de los costos de establecimiento del cafetal, mejora la alimentación y la nutrición de las familias caficultoras, además de ofrecer servicios ecosistémicos como la captura de carbono, el aumento de la biodiversidad y la cobertura superficial del suelo que reduce la erosión hídrica (Jaramillo & Salazar, 2021).

La productividad de los híbridos modernos de maíz está íntimamente ligada con factores relacionados con el genotipo, el ambiente y el manejo agronómico, siendo la densidad de siembra entendida como el número de plantas por hectárea, el factor de manejo agronómico que junto con la fecha de siembra y la fertilización nitrogenada, inciden mayormente en la obtención de altos rendimientos (Almeida et al., 2000; Cox & Cherney, 2001; Sangoi, 2001; Andrade et al., 2002; Duvick, 2005; Quevedo et al., 2018). El maíz es más sensible que otras especies gramíneas a las variaciones en densidades de población, esto ha generado un esfuerzo de investigación intenso con una visión hacia mejorar el entendimiento sobre cómo los cambios en el número de individuos por unidad de área impactan el rendimiento de grano y para identificar las densidades óptimas de población para esta especie bajo un amplio rango de condiciones ambientales y de manejo agronómico (Sangoi, 2000).

Las densidades de siembra recomendadas para las variedades de maíz amarillo ICA V-305 y de maíz blanco ICA V-354 en el sistema intercalado con café son de 45.000 plantas por hectárea para el primer ciclo de maíz y de 30.000 plantas por hectárea para el segundo ciclo, ya que debido a su elongación de entrenudos puede afectarse la producción por efecto del volcamiento (Arcila et al., 2007). En la actualidad el mejoramiento genético para aumentar el rendimiento de grano de los híbridos de maíz está asociado con el

incremento de la tolerancia de estos materiales a altas densidades de plantas, en donde al introducir cambios en la arquitectura de la plantas de maíz les permiten a los híbridos alcanzar mayores tasas fotosintéticas de las hojas del tercio superior a altas densidades de siembra (Dwyer et al., 1991; Tollenaar, 1992; Sangoi, 2000; Quevedo et al., 2018). Esta condición también promueve el uso eficiente de la radiación durante la fase de llenado de grano, lo cual contribuye a la producción de un mayor número granos por planta y a un mayor rendimiento; adicionalmente, una arquitectura de planta más compacta y de tallos gruesos incide positivamente sobre el anclaje del maíz a altas densidades, reduciendo problemas como el volcamiento de tallos (Sangoi, 2000; Sakariyawo et al., 2018).

En 2019, en un esfuerzo conjunto entre la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se liberó para la zona cafetera colombiana el híbrido simple de maíz blanco biofortificado con zinc SGBIOH2, cuyos principales atributos agronómicos son su alto potencial productivo, la resistencia a *Phyllacora maydis*, *Monographella maydis*, *Coniothyrium phyllachorae* (complejo fungoso de la mancha de asfalto) y la tolerancia genética al volcamiento de tallos que le permite sembrarse a densidades de siembra en monocultivo hasta de 90.000 plantas por hectárea. Para el sistema intercalado con café era necesario definir las densidades de siembra de este híbrido con las cuales se obtuvieran los rendimientos más altos de maíz sin que se afectara la producción de café; para lo cual se estableció esta investigación cuyo objetivo fue evaluar en el sistema intercalado, el efecto de cuatro tratamientos de densidad de siembra del híbrido sobre la producción de dos ciclos de maíz y sobre producción acumulada de café durante dos cosechas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en dos etapas. Durante la primera etapa se evaluó el efecto de cuatro diferentes densidades de siembra del híbrido de maíz SGBIOH2 sobre la producción de grano de maíz al 14% de humedad durante dos ciclos consecutivos establecidos bajo el sistema intercalado con café en lotes renovados por siembra y por zoca, en cuatro localidades. Durante la segunda etapa se evaluó la producción acumulada de café de las dos primeras cosechas, la relación cereza/pergamino seco y el factor de rendimiento en trilla para cada uno de los tratamientos de densidad.

Localización. La investigación se llevó a cabo en cuatro estaciones experimentales de Cenicafé: Naranjal (Caldas), La Catalina (Risaralda), El Rosario (Antioquia) y El Tambo (Cauca); estas localidades fueron seleccionadas debido a que presentan condiciones contrastantes en cuanto a las características geográficas y climáticas que se presentan en la Tabla 1.

En todas las localidades de evaluación se realizaron los análisis físicos y químicos de suelos que sirvieron como base para la toma de decisiones relacionadas con la aplicación de enmiendas para la corrección de la acidez y para el ajuste de los planes de fertilización tanto del maíz como del café, los resultados de dichos análisis se presentan en la Tabla 2.

Teniendo en cuenta el arreglo espacial del café en las diferentes localidades presentado en la Tabla 3, se ajustaron los arreglos espaciales del maíz para el establecimiento de cada uno de los tratamientos de densidad de siembra evaluados mediante la Ecuación <1> descrita por Jaramillo (2023):

$$DSS = \left[\frac{(10000 \times TS)}{(DSC \times DD)} \right] \times NSS \quad <1>$$

Donde:
 DSS: distancia entre sitios de siembra de maíz (m)
 TS: tipo de surco (simple: 1; doble: 2; triple: 3)

DSC: distancia entre surcos de café (m)
 DD: densidad de siembra de maíz deseada
 NSS: número de semillas por sitio

Tabla 1. Características geográficas y climáticas de las localidades de evaluación.

Característica /Estación	Naranjal	La Catalina	El Rosario	El Tambo
Departamento	Caldas	Risaralda	Antioquia	Cauca
Municipio	Chinchiná	Pereira	Venecia	El Tambo
Latitud	04°58'N	04°45'N	05°58'N	02°24'N
Longitud	75°39'W	75°44'W	75°42'W	76°44'W
Altitud (m)	1.381	1.321	1.635	1.735
Temperatura promedio (°C)	21.2	21.7	20.4	18.9
Humedad relativa promedio (%)	80	77	75	80
Brillo solar anual promedio (horas)	1.636	1.621	1.935	1.662
Precipitación anual promedio (mm)	2.939	2.282	2.644	2.078

Fuente: (García-López et al., 2023). Información obtenida de la normal climatológica (1990-2019)

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos de las localidades de evaluación.

Localidad	pH	MO	N	P	Al	K	Ca	Mg	S	Arcilla	Limo	Arena	Textura
		%	mg kg ⁻¹	cmol (+)-kg	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%					
Naranjal	4,5	12,0	0,47	23	1,10	0,18	0,57	0,26	19,70	27,0	19,0	55,0	F.Ar.A
La Catalina	4,6	10,6	0,42	23	0,90	0,53	1,92	0,32	13,60	28,0	27,0	45,0	F.Ar.A
El Rosario	4,2	10,0	0,41	20	8,0	0,25	0,96	0,6	13,8	51,0	16,0	34,0	Ar.
El Tambo	4,0	20,3	0,68	20	3,79	1,01	1,38	0,62	15,13	38,0	12,0	50,0	F

Métodos de Análisis: pH: Potenciométrico-suelo: Agua 1:1; N: Calculado; MO: Walkley-Black-Colorimetría; K, Ca, Mg: Acetato de amonio 1N pH 7.0-EAA; Al:KCl IM-titulación; P:Bray II-colorimetría Bray Kurtz; Textura : Bouyoucos con pirofosfato de sodio-clasificación diagrama triangular de USDA- F (franco), Ar (arcilloso), L (limoso), A (arenoso).

Tabla 3. Características particulares de los lotes de café en los que fue establecida la investigación en términos de variedad, densidad de siembra, arreglo espaciales y método de renovación.

Estación	Variedad de café	Arreglo espacial (DP x DS) en metros	Densidad de siembra de café (árboles/ha)	Método de renovación
Naranjal	Castillo Zona Sur	1,4 x 1,0	7.142	Siembra
La Catalina	Castillo General	1,4 x 1,0	7.142	Zoca tradicional
El Rosario	Castillo Zona Centro	1,4 x 1,0	7.142	Siembra
El Tambo	Cenicafé 1	1,0 x 1,0	10.000	Siembra

Metodología utilizada en la etapa 1

En cada una de las cuatro localidades se seleccionaron lotes renovados de café en fase de levante en los que se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar, con cinco tratamientos y nueve repeticiones, en donde el factor de bloqueo se determinó en función de la pendiente del terreno. El tamaño de la parcela experimental fue de 48 m² (6m x 8m), cubriendo un área total de 0,25 hectáreas por localidad. Los tratamientos de densidad de siembra de maíz fueron 45.000, 50.000, 55.000 y 60.000 plantas por hectárea y un testigo absoluto sin maíz. Las parcelas fueron sembradas manualmente con semillas certificadas de maíz híbrido SGBIOH2 previamente tratadas con una mezcla de imidacloprid + thiodicarb (150+450 I.A g L⁻¹) en dosis de 5 cm³ de producto comercial por kilogramo de semilla. Un día después de la siembra se realizó la aplicación de una mezcla de los herbicidas: glifosato (1.5 L ha⁻¹) + pendimetalina (800 cm³ ha⁻¹) utilizando un volumen de mezcla de 200 litros por hectárea; esta aplicación se realizó utilizando boquillas Teejet 8001, con pantalla protectora para evitar el contacto con las plantas de café, a una presión constante de 20 Pa y dirigida sobre los surcos de maíz sembrados en el centro de las calles del café.

La fertilización del maíz se llevó a cabo en tres momentos: (i) Etapa VE-5 días después de la emergencia de las plantas, se aplicó una mezcla por hectárea de 40 kg de N, 100 kg de P₂O₅ y 50 kg de K₂O en forma de corona evitando el contacto directo del fertilizante con los tallos tiernos; (ii) Etapa V6-Sexta hoja, se aplicó una mezcla por hectárea de 69 kg de N y 50 kg de K₂O y (iii) Etapa V10- Décima hoja, se aplicaron al voleo 69 kg de N por hectárea. El manejo fitosanitario se realizó de acuerdo a los niveles de daño económico determinados a través de monitoreos periódicos de los insectos plaga y de las enfermedades que se presentaron en cada una de las localidades. La cosecha del maíz se realizó de forma manual en etapa de madurez fisiológica con una humedad de grano del 20%, posteriormente se realizó el desgrane mecánico de las mazorcas y el secado de los granos en secadores tipo parabólicos hasta una humedad del 14%. En cada una de las parcelas se registraron tanto la producción de grano seco en kilogramos de maíz (variable de respuesta 1) y la humedad en porcentaje. En cada una de las localidades se llevaron a cabo dos ciclos consecutivos de maíz híbrido intercalado estableciendo los diferentes tratamientos de densidad de siembra en las mismas parcelas del ciclo anterior.

El manejo agronómico del cultivo del café en todas las localidades se realizó siguiendo los lineamientos de la Guía Más Agronomía, Más Productividad, Más Calidad (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2021) y los planes de fertilización del café se realizaron de acuerdo a las recomendaciones del Sistema de Reporte e Interpretación de Análisis de Suelos (SIASCAFÉ-V2) disponible en www.cenicafe.org.

Metodología utilizada en la etapa 2

Una vez concluida la cosecha de los dos ciclos de evaluación de maíz, se inició con el registro de la producción de café en las cuatro localidades. En cada una de las parcelas en donde fueron establecidos los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz y en las parcelas testigo en donde no se sembró maíz, se realizó la recolección manual, pesaje y registro de la cantidad de café cereza cosechada (variable de respuesta 2); adicionalmente durante el pase principal de la segunda cosecha de café se recolectaron muestras en cada una de las parcelas para determinar luego del beneficio húmedo, la relación cereza / pergamino seco (cc/cps) y el factor de rendimiento en trilla que corresponde a la cantidad de café pergamino seco que se necesita trillar para obtener un saco de 70 kg de café excelso de exportación (variables complementarias).

Análisis estadístico

En este análisis se incluyó la producción de un testigo absoluto, que consistió en parcelas sembradas sólo con café sin cultivo intercalado de maíz. Para cada tratamiento, se realizó un análisis descriptivo en donde se determinó el promedio y el error estándar de las variables de respuesta y de las variables complementarias. En la primera etapa se realizó un análisis de varianza asociado al diseño de bloques completos al azar con la variable de respuesta

producción de maíz, al 5%; en este análisis no se incluyó el testigo absoluto. Para determinar si con las densidades de siembra evaluadas se afectaba la producción de café, se realizó en la segunda etapa un análisis de varianza asociado al diseño de bloques completos al azar al 5%, con la variable de respuesta producción acumulada de café pergamino seco por parcela de 48 m², en este análisis se incluyó el testigo absoluto que corresponde a las parcelas en donde no se sembró maíz. Adicionalmente se realizó un análisis de varianza para las variables complementarias relación cereza/pergamino seco y factor de rendimiento en trilla.

RESULTADOS

Para la cosecha del primer ciclo de maíz, la producción promedio observada para la Estación Naranjal estuvo entre 6.892 kg para la densidad más baja de maíz correspondiente a 45.000 plantas por hectárea y 8.490 kg por hectárea en la densidad de 60.000 plantas de maíz por hectárea, con errores estándar de 271,8 y 183,5 kg, respectivamente (Tabla 4), donde los coeficientes de variación no superan el 12%, indicando una baja variabilidad en las producciones. Los valores de producción de maíz de la Estación Naranjal, contrastan con los observados en la Estación El Tambo en donde se presentó esterilidad de grano que afectó negativamente el rendimiento, evidenciado además en una mayor variabilidad en la producción con respecto a las otras estaciones con coeficientes de variación de 76% en el tratamiento de densidad de 45.000 plantas por hectárea.

Para la cosecha del segundo ciclo de maíz, el comportamiento de la producción promedio para cada estación y densidad, fue similar a la observada en el primer ciclo, pero con una disminución promedio en La Catalina de 7%, 15% para Naranjal, 5% para El Rosario y del 29% para El Tambo, independientemente de la

densidad (Figura 1), lo anterior puede explicarse por el exceso de precipitación predominante en la condición La Niña reportada durante el desarrollo de este ciclo productivo.

Para cada una de las estaciones experimentales y ciclos de cosecha, se realizó el análisis de varianza bajo el modelo de bloques completos al azar (DBCA), el cual indicó para todas las estaciones y ciclos de cosecha, un efecto de las densidades de siembra sobre la producción de maíz con un nivel de significancia del 5% ($Pr > F = 0,0001$), a excepción de la Estación Experimental El

Tambo, en el segundo ciclo de producción ($Pr > F = 0,7492$), la cual no mostró efecto de tratamientos posiblemente atribuido a problemas de adaptabilidad del híbrido en altitudes superiores a los 1.700 m (Tabla 4 y Figura 1). Cabe resaltar que la prueba de polinomios ortogonales, indicó en todos los análisis de varianza que fueron significativos, con una tendencia lineal ($Pr > F = 0,0001$) en la producción de maíz híbrido por efecto de las densidades de siembra, lo que significa que, para las densidades evaluadas, a mayor densidad de siembra, mayor rendimiento del híbrido de maíz.

Tabla 4. Promedio y error estándar del rendimiento de maíz híbrido SGBIOH2 (kg ha⁻¹) por ciclo de cosecha y densidad de siembra de maíz híbrido SGBIOH2 para cada Estación Experimental.

Ciclo	Densidad (Tratamiento)	La Catalina		Naranjal		El Rosario		El Tambo	
		Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar	Prom.	Error estándar
1	45.000	5.614,1	394,2	6.892,2	271,8	3.479,9	244,7	1.632,2	414,5
	50.000	5.924,1	319,8	7.264,9	267,5	3.943,0	272,3	2.740,5	179,4
	55.000	7.069,1	197,4	8.066,6	189,4	4.537,4	349,0	3.193,7	112,4
	60.000	7.751,6	229,5	8.490,2	183,5	4.913,4	315,2	3.558,9	118,8
Pr > F		<0,0001		<0,0001		<0,0001		0,0004	
2	45.000	5.137,2	354,7	5.836,3	245,1	3.552,1	310,6	1.854,7	208,3
	50.000	5.693,0	269,1	6.352,5	200,6	3.246,5	319,9	1.765,1	149,4
	55.000	5.846,3	421,4	6.804,4	239,6	4.093,8	238,0	1.942,1	163,5
	60.000	7.813,1	311,6	7.209,1	286,7	5.355,3	302,6	1.982,6	159,9
Pr > F		<0,0001		<0,0001		0,0276		0,7492	

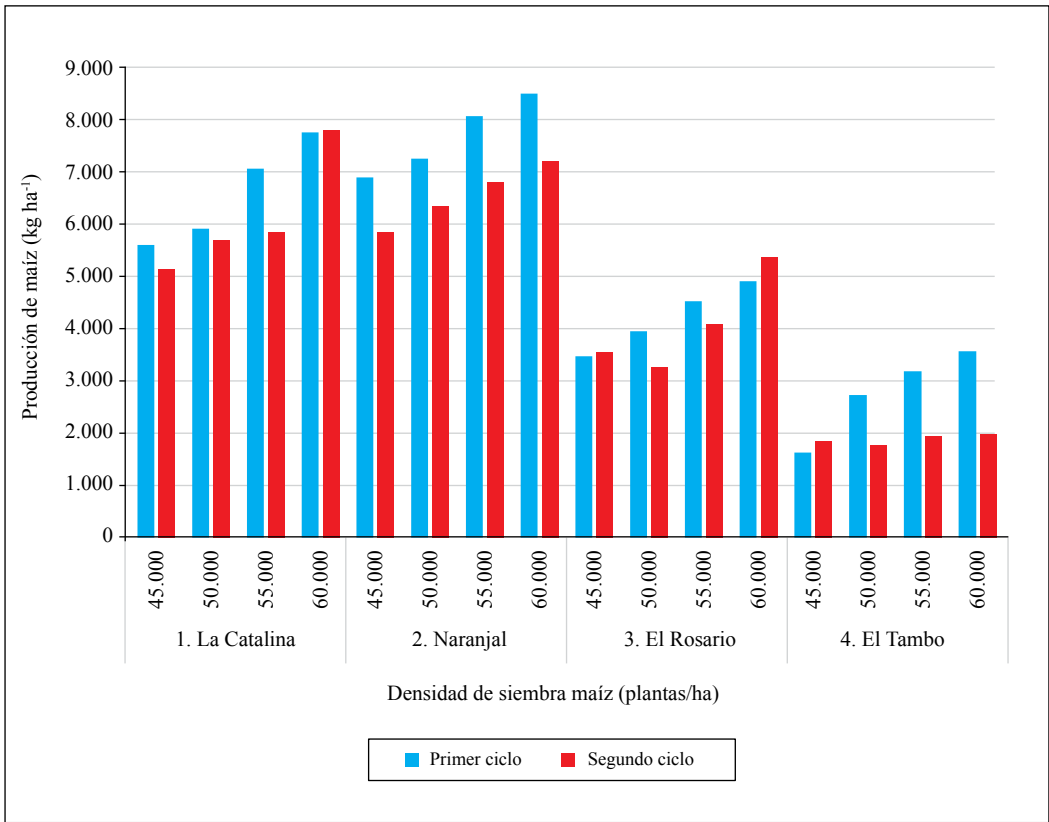


Figura 1. Promedio de producción de maíz al 14% de humedad (kg ha^{-1}) para cada localidad y para cada tratamiento de densidad de siembra por ciclo de cosecha.

Para todas las estaciones, el análisis no mostró efecto de tratamientos ($\text{Pr} > 0,05$), lo que implica que la producción de café en el sistema intercalado con maíz no se afectó en ninguna de las densidades evaluadas, logrando corroborar la hipótesis de la investigación asociada a la no afectación de la producción de café con las cuatro densidades de maíz evaluadas, este comportamiento se evidencia en los promedios de producción por parcela de 48 m^2 en intervalos de confianza del 95% (Figura 2).

Para evaluar el efecto de los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz

intercalado sobre la calidad física del café en términos de la relación de café cereza sobre café pergamino seco y el factor de rendimiento en trilla, se realizó un análisis de varianza asociado al diseño DBCA, el cual no mostró diferencias estadísticas significativas, excepto para la relación cereza/pergamino seco en la localidad El Rosario. En esta localidad se presentó una tendencia cuadrática ($\text{Pr} > F 0,013$), la cual se explica porque en el tratamiento de 45.000 plantas de maíz por hectárea se presenta una mayor relación cc/ cps con respecto a los tratamientos 2, 3, 4 y frente al testigo (Figura 3).

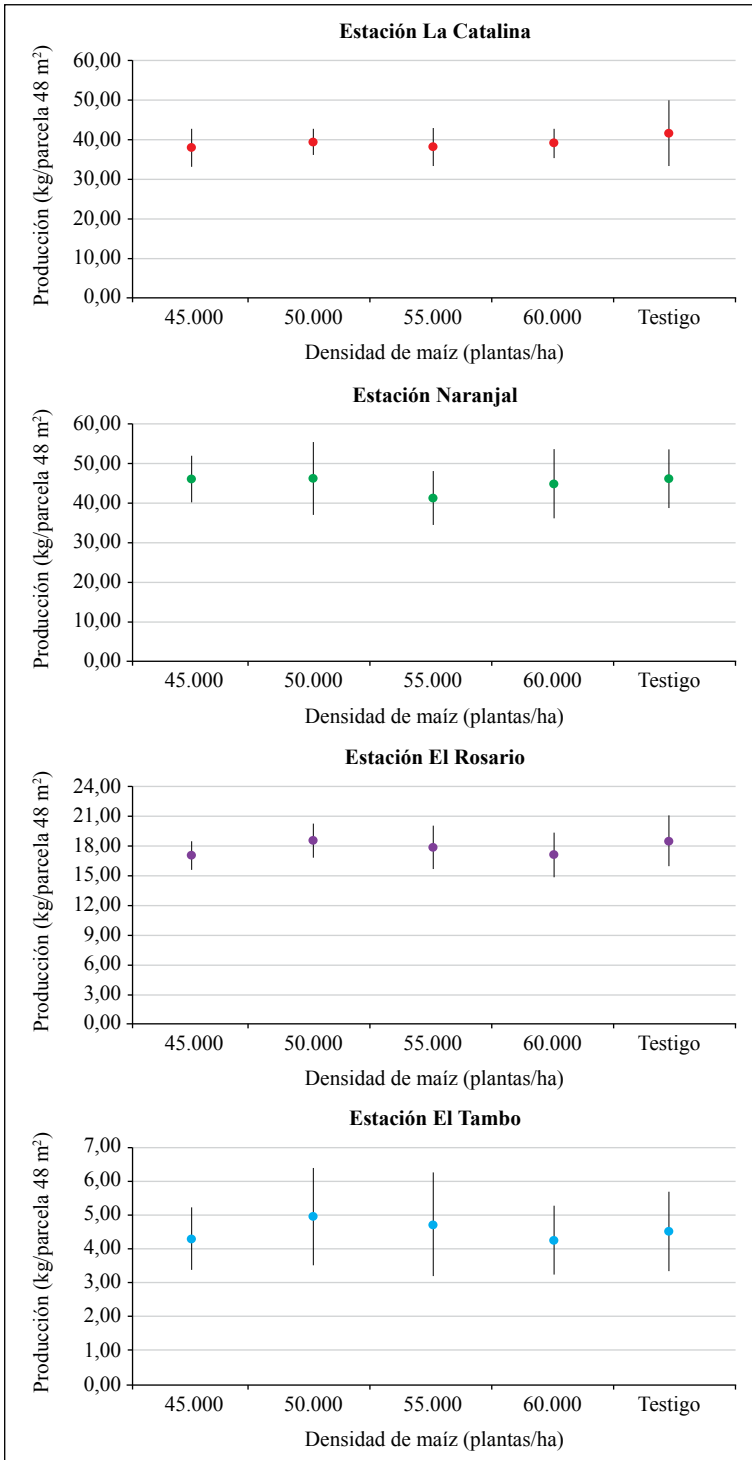


Figura 2. Promedio e intervalo con un coeficiente de confianza del 95%, para la producción acumulada en kilogramos de café pergamino seco (kg ha⁻¹) por parcela de 48 m².

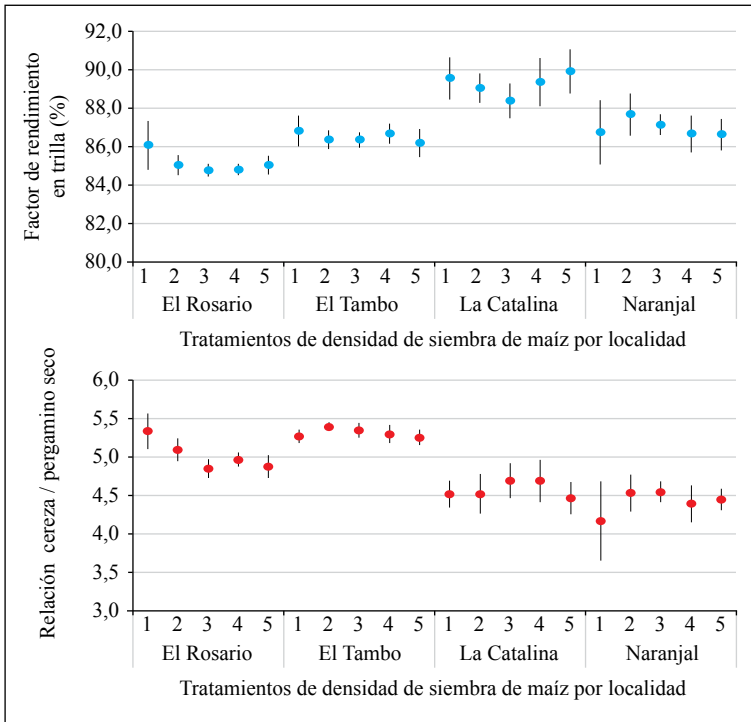


Figura 3. Promedios e intervalos con un coeficiente de confianza del 95%, para el factor de rendimiento en trilla en porcentaje y para la relación café cereza / pergamino seco en las cuatro localidades de evaluación. Los valores del 1 al 5 del eje x, corresponden a los tratamientos de densidad de siembra en plantas por hectárea de (1) 45.000; (2) 50.000; (3) 55.000; (4) 60.000 y (5) Testigo absoluto sin maíz.

DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta el comportamiento de las producciones de maíz híbrido observado en el sistema intercalado en las calles del café durante dos ciclos consecutivos en las cuatro localidades de evaluación, se evidenció un marcado efecto de la densidad de siembra sobre la producción de grano de maíz al 14% de humedad, mostrando una tendencia lineal que indica que al aumentar las densidades de siembra y, por ende, las poblaciones de plantas de maíz de 45.000 a 60.000 plantas por hectárea, se incrementan los rendimientos de maíz de manera significativa, estos resultados son similares a los reportados por Almeida et al. (2000), Sangoi (2001) para híbridos de maíz sembrados en monocultivo. Adicionalmente, durante el desarrollo de la investigación se observó un comportamiento diferencial en

la adaptabilidad del híbrido de maíz blanco biofortificado SGBIOH2 de acuerdo a la altitud contrastante de las localidades de evaluación, evidenciadas principalmente en una mayor productividad del maíz híbrido en las localidades Naranjal y La Catalina, ubicadas en altitudes de 1.381 y 1.321 metros, respectivamente; a diferencia de las localidades El Rosario y El Tambo ubicadas en altitudes de 1.635 y 1.735 metros, respectivamente, en donde los rendimientos registrados durante los dos ciclos de evaluación fueron inferiores, lo que podría condicionar la decisión de establecer este material en altitudes superiores a 1.600 m.

Al analizar el comportamiento productivo del café (cultivo principal) que fue sometido a dos ciclos consecutivos de maíz híbrido (cultivo acompañante) intercalado durante la etapa vegetativa del café, bajo cuatro niveles de

densidad de siembra de maíz, no se observaron diferencias en la producción de café asociadas al aumento de la población de plantas de maíz frente a las parcelas testigo de café sin maíz. Este hallazgo justifica la práctica de establecer durante la etapa vegetativa del café dos ciclos consecutivos de maíz híbrido SGBIOH2 a densidades de siembra de 60.000 plantas por hectárea sin que se afecte la producción de café; debe tenerse en consideración que en trabajos posteriores podrían evaluarse mayores densidades de siembra de maíz para seguir incrementando su rendimiento, sin que se afecte la producción de café.

Las variaciones en la duración de la etapa vegetativa del café relacionadas con las diferencias altitudinales de las localidades, también explican parte de la variabilidad en la producción acumulada de café en kilogramos de café pergamino seco entre localidades; ya que en las Estaciones Naranjal, La Catalina y El Rosario la primera cosecha de café se registró a los 18 meses después de la renovación; en contraste con la Estación el Tambo en donde los registros de producción de café iniciaron a los 24 meses después de la renovación.

La calidad física del café recolectado en las parcelas en donde fueron establecidos los dos ciclos de maíz intercalado, no se afectó por ninguna de las densidades de siembra de maíz intercalado y exhibió un comportamiento similar al de las parcelas testigo en donde no se sembró maíz. Si bien el análisis de varianza para las variables complementarias relación cereza/pergamino seco y factor de rendimiento en trilla no mostraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, cabe resaltar que la menor relación se obtuvo en la Estación Naranjal con un valor de 4,2 y la mayor en la Estación El Tambo con un valor de 5,4; subrayando que cuando la relación es baja, indica que se requiere una menor cantidad de

café cereza para obtener un kilogramo de café pergamino seco, lo cual es beneficioso desde el punto de vista económico. Los factores de rendimiento en trilla fueron inferiores a 90 en todas las localidades, sobresaliendo los factores reportados en la Estación El Rosario que fueron de 84,1.

CONCLUSIONES

Los rendimientos de dos ciclos de maíz híbrido sembrados consecutivamente en las calles del cafetal durante la etapa vegetativa del café, aumentaron linealmente conforme la densidad de siembra del maíz aumentaba, este comportamiento se explica en gran medida gracias a la tolerancia genética de estos nuevos genotipos al adensamiento y al volcamiento. La producción acumulada de café de las dos primeras cosechas no se afectó por ninguno de los cuatro tratamientos de densidad de siembra de maíz evaluados, esto indica que los caficultores pueden sembrar hasta 60.000 plantas por hectárea de maíz sin que se vean comprometidas la productividad y la calidad física del café. Los rendimientos del híbrido de maíz SGBIOH2 fueron menores en las localidades ubicadas a altitudes por encima de los 1.600 m, posiblemente debido a problemas de adaptabilidad; lo que representa una oportunidad para realizar investigaciones sobre el desempeño agronómico de nuevos genotipos de maíz con mejor adaptación a estas altitudes.

AGRADECIMIENTOS

A las disciplinas de Experimentación, Suelos, Agroclimatología, Biometría y Fitotecnia de Cenicafé, a la Unidad Administrativa y Financiera de Cenicafé, a la Dirección de Cenicafé y a la Gerencia Técnica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Este trabajo fue financiado con recursos del Fondo Nacional del Café.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES



Conceptualización, Curación de datos,
Redacción-borrador original, Metodología:

S.J.C.; Análisis Formal, Validación: S.J.C.;
R.D.M.R; Redacción- revisión y edición:
S.J.C.; R.D.M.R, A.J.J. Todos los autores
han leído y aceptado la versión publicada
del manuscrito.

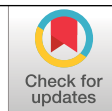
LITERATURA CITADA

- Almeida, M. L. de, Merotto Junior, A., Sangoi, L., Ender, M., & Guidolin, A. F. (2000). Incremento na densidade de plantas: Uma alternativa para aumentar o rendimento de grãos de milho em regiões de curta estação estival de crescimento. *Ciência Rural*, 30(1), 23–29. <https://doi.org/10.1590/S0103-8478200000100004>
- Andrade, F. H., Calviño, P., Cirilo, A., & Barbieri, P. (2002). Yield Responses to Narrow Rows Depend on Increased Radiation Interception. *Agronomy Journal*, 94(5), 975–980. <https://doi.org/10.2134/agronj2002.9750>
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P. P. M., Jones, H. G., Karley, A. J., Li, L., McKenzie, B. M., Pakeman, R. J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C. A., Zhang, C., ... White, P. J. (2015). Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206(1), 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2021). *Guía más agronomía, más productividad, más calidad* (3rd ed.). Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0014>
- Cox, W. J., & Cherney, D. J. R. (2001). Row Spacing, Plant Density, and Nitrogen Effects on Corn Silage. *Agronomy Journal*, 93(3), 597–602. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.933597x>
- Duque-Orrego, H., Salazar, H. M., Rojas-Sepúlveda, L. A., & Gaitán, Á. (2021). *Análisis económico de tecnologías para la producción de café en Colombia*. Cenicafe. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0016>
- García-López, J. C., Ramírez-Carabalí, C., & Sarmiento-Herrera, N. (2023). Respuesta climática a eventos ENOS La Niña entre 1998 y 2022, en la zona cafetera. *Avances Técnicos Cenicafe*, 550, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0550>
- Govaerts, B., Vega, D., Chávez, X., Narro, L., San Vicente, F. M., Palacios-Rojas, N., Pérez, M., González, G., Ortega, P., Carvajal, A., Arcos, A. L., Bolaños, J., Romero, N., Bolaños, J., Vanegas, Y. F., Echeverría, R. G., Jarvis, A., Jiménez, D., Ramírez-Villegas, J., ... Tapasco, J. (2019). *Maíz para Colombia Visión 2030* (p. 109). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. <https://repository.cimmyt.org/handle/10883/20218>
- Guvenc, I., & Yildirim, E. (2006). Increasing Productivity with Intercropping Systems in Cabbage Production. *Journal of Sustainable Agriculture*, 28(4), 29–44. https://doi.org/10.1300/J064v28n04_04
- Jaramillo, S. (2023). Recomendaciones para el manejo agronómico del cultivo de frijol arbustivo en el sistema intercalado con café. *Avances Técnicos Cenicafe*, 551, 1–12. <https://doi.org/10.38141/10779/0551>
- Jaramillo, S., & Salazar, H. M. (2021). Cultivos intercalados: Una alternativa para aumentar los ingresos y la sostenibilidad de cafetales. *Avances Técnicos Cenicafe*, 534, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0534>
- Quevedo, Y. M., Beltrán, J. I., & Barragán-Quijano, E. (2018). Effect of sowing density on yield and profitability of a hybrid corn under tropical conditions. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 248–256. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v36n3.71268>
- Sangoi, L. (2001). Understanding Plant Density Effects On Maize Growth And Development: An Important Issue To Maximize Grain Yield. *Ciencia Rural*, 31(1), 159–168. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100027>

EVALUACIÓN DE EQUIPOS Y MÉTODOS DE APLICACIÓN DE HERBICIDAS EN EL CULTIVO DEL CAFÉ

Luis Fernando Salazar Gutiérrez *, Myriam Cañón Hernández **, Daniel Antonio Franco Chaurra **, Jhon Félix Trejos Pinzón **

Salazar-Gutiérrez, L., Cañón, M., Franco, D. A., Trejos Pinzón, J. F. (2024). Evaluación de equipos y métodos de aplicación de herbicidas en el cultivo del café. *Revista Cenicafé*, 75(1), e75106. <https://doi.org/10.38141/10778/75106>



Con el objetivo de evaluar tecnologías de aplicación de herbicidas en café, se realizó una investigación en dos etapas: 1. Se evaluó la eficacia del control, como cobertura de arvenses a los 21, 35 y 60 días después de la aplicación, y 2. La eficiencia de la aplicación, representada en el tiempo y volumen empleado. Se utilizó glifosato, en cultivos de un año de edad. La etapa 1 se realizó en las Estaciones Experimentales Naranjal-Caldas y Paraguaicito-Quindío, se evaluaron diferentes equipos: eléctrico de pulverización centrífuga (EPC), de aspersión de bombeo eléctrico (EBE) y aspersión de bombeo manual (EBM), este último con reguladores de presión (CFV) de 0,145 y 0,099 MPa, boquilla AI y sin regulador (testigo), bajo un diseño de bloques completos al azar con 12 repeticiones. La etapa 2, se realizó en las Estaciones Naranjal y La Trinidad-Tolima, se evaluaron: 1=EPC, 2=EBE, 3=EBM con CFV de 0,145 MPa, 4=equipo selector de arvenses (ESA) con ruedas, 5=ESA y 6=EBM sin regulador (testigo), con 12 repeticiones en parcelas de 0,2 ha. En la etapa 1, no hubo diferencias en la cobertura de arvenses. El volumen de aplicación fue mayor con boquilla AI (389 y 280 L ha⁻¹) comparado con el testigo que utilizó entre 300 y 200 L ha⁻¹. En la etapa 2, el tiempo de aplicación fue similar; el uso de CFV de 0,145 MPa fue consistente con la calibración, mientras que ambos ESA presentaron volúmenes de aplicación de 15 a 20 L ha⁻¹ y mejor cubrimiento de arvenses.

Palabras clave: Boquillas, fitotoxicidad, equipos de aspersión, manejo integrado de arvenses, tecnologías de aplicación, café, Cenicafé, Colombia.

EVALUATION OF EQUIPMENT AND METHODS FOR HERBICIDE APPLICATION IN COFFEE CULTIVATION

To evaluate herbicide application techniques on coffee, a study was carried out in two phases: 1. Weed control efficacy was evaluated by weed coverage 21, 35 and 60 days after application; 2. Application efficiency, expressed in time and volume applied, was evaluated. Glyphosate was used in one-year-old coffee crops. Stage 1 was conducted at the Naranjal-Caldas and Paraguaicito-Quindío Experiment Stations, evaluating different equipment: Electric Centrifugal Sprayer (EPC), Electric Pump Sprayer (EBE), and Manual Pump Sprayer (EBM), the latter with pressure regulator (CFV) of 0.145 and 0.099 MPa, AI nozzle, and without regulator (control), under a randomized complete block design with 12 repetitions. Stage 2 was conducted at the Naranjal and La Trinidad-Tolima Stations, evaluating: 1=EPC, 2=EBE, 3=EBM with CFV of 0.145 MPa, 4=weed selector equipment (ESA) with wheels, 5=ESA, and 6=EBM without regulator (control), with 12 repetitions in 0.2 ha plots. In stage 1, there were no differences in weed coverage. The application volume was higher with AI nozzle (389 and 280 L ha⁻¹) compared to the control that used between 300 and 200 L ha⁻¹. In stage 2, the application time was similar; the use of CFV at 0.145 MPa was consistent with calibration, while both ESA presented application volumes of 15 to 20 L ha⁻¹ and better weed coverage.

Keywords: Nozzles, phytotoxicity, spraying equipment, integrated weed management, application technologies, coffee, Cenicafé, Colombia.

* Investigador Científico II. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2302-4825>

** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. <https://orcid.org/0000-0003-2349-2856>



La innovación tecnológica en el manejo de arvenses es clave para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad en la agricultura (Westwood et al., 2018). En Colombia, la caficultura es realizada en su gran mayoría por pequeños productores, ubicados en zonas de montaña de fuerte pendiente y difícil acceso; siendo lugares, donde como práctica de cultivo y de conservación de suelos se recomienda realizar el manejo integrado de arvenses (MIA), que consiste en la integración conveniente y oportuna de los diferentes métodos de manejo de arvenses como son el manual, el mecánico y el químico (Salazar et al., 2020).

En el MIA, el control químico de arvenses se realiza con la aplicación de herbicidas, por focos o parches, mediante equipos de aspersión de mochila o espalda, de bombeo manual, de tanque metálico o plástico, con capacidad para 10 a 20 L (Pfalzer, 2004), o con el equipo selector de arvenses (Rivera, 2000; Salazar et al., 2015). Factores como la alta densidad de siembra, la susceptibilidad del café a los diferentes herbicidas, el rápido crecimiento de las arvenses y la topografía inclinada, conllevan a que el desplazamiento de los operarios deba realizarse en forma lenta y cuidadosa, lo cual influye en la eficiencia de la labor y en el volumen de aplicación (Pfalzer, 2004). Por otro lado, pueden presentarse fallas al aplicar un herbicida, que obedecen en parte al mantenimiento y manejo inadecuado de los equipos, como al empleo incorrecto de las técnicas o métodos de aplicación (Doll y Fuentes, 1981).

En este sentido, la labor del control de arvenses con equipos de aspersión de bombeo manual es extenuante porque puede causar fatiga en los operarios (Mattews et al., 2014), debido entre otras razones, a que permanentemente deben tener las dos manos ocupadas para realizar la labor y activar con una palanca el bombeo. En algunas ocasiones, el control de

arvenses con este método se torna ineficiente y se causan daños al cultivo debido al escaso control de la presión que se ejerce (Fee et al., 1999). Por lo anterior, con el objetivo de mejorar las condiciones de la labor, existen en el mercado diferentes versiones motorizadas con una bomba accionada eléctricamente, mediante el uso de baterías, que permiten mayor facilidad en la aplicación y el control de la presión y/o caudal de salida (Mattews et al., 2014; Sinha et al., 2019).

Están otras técnicas de aplicación como los equipos de acción centrífuga “tipo Herbi” (Johnstone et al., 1977; Mattews et al., 2014; Mohan et al., 2021), que son accionados con baterías recargables y se han ajustado para la aplicación localizada, de bajos volúmenes de herbicidas (5 a 50 L ha⁻¹) a ultra bajos (menores de 5 L ha⁻¹ producto comercial puro), con campana o pantalla protectora. Estos trabajan por acción de la gravedad y la pulverización de la gota se da por el movimiento centrífugo de un disco a alta revolución, el cual se activa por medio de baterías eléctricas; este equipo ofrece un tamaño de gota apropiado para el control de arvenses (alrededor de 200 a 250 micras) y un volumen de aplicación bajo (10 a 50 L ha⁻¹) (Bals, 1969; Johnstone et al., 1977). El tamaño de la gota se gradúa al variar la velocidad de rotación del disco (Mattews et al., 2014).

En cuanto a la regulación de la presión, los equipos de bombeo manual presentan grandes variaciones en la presión (0,09 a 0,41 MPa) por lo que se han desarrollado válvulas de presión constante (CFV) (Mattews et al., 2014; McAuliffe & Gray, 2002). Estas permiten mantener el flujo constante a través de las boquillas, independientemente de la presión de entrada y la tasa de bombeo. También realiza la función de cierre automático o antigoteo (Moreno Mena, 2011), hecho que favorece el

uso racional de herbicidas. Actualmente, estas válvulas se fabrican en material de polipropileno y están disponibles en el mercado para presiones desde 0,099 a 0,199 MPa.

Sobre las boquillas, según Matthews et al. (2014), la tecnología desarrollada al nivel mundial para aplicación de plaguicidas es abundante y se ajusta a cada condición del sistema de cultivo, del medioambiente y del objetivo de la aplicación. Las boquillas de abanico plano son las más recomendables para la aplicación de herbicidas postemergentes en el cultivo del café, debido a la menor proporción de gotas finas generadas en comparación con boquillas de cono (Gómez & Rivera, 1994), sin embargo, estas pueden generar aun una importante proporción de gotas finas (menores de 150 micras) que son susceptibles a la deriva. Por ello, en el mercado se recomiendan boquillas de inducción de aire o aire inducido (AI), que permitan una reducción significativa de gotas finas y reducen el riesgo de deriva (Matthews et al., 2014; Pitty et al., 2010).

Referente a las boquillas de aire inducido (AI) según Spraying Systems co. (2004), estas tienen un pre-orificio el cual introduce aire hacia el interior de la boquilla para que este se mezcle con el agua; el orificio de salida, es mayor que el pre-orificio, y es el que forma el patrón de aspersión. La mezcla del aire y el agua, forma un patrón de aspersión con el aire inducido a bajas presiones, el cual forma gotas gruesas y llenas de aire poco susceptibles a la deriva. Combella et al. (1996) en túneles de viento observaron que la boquilla AI redujo en 262% el riesgo de deriva en relación con la misma boquilla sin la tecnología de AI, lo cual es favorable para reducir el riesgo por fitotoxicidad a los cultivos y es más segura para los operarios. Sobre la fitotoxicidad por herbicidas, se asume que el 10% del herbicida aplicado en los cultivos llega a las plantas que no son objeto de la

aplicación, pero esa proporción puede llegar a ser aún más alta (Schrübbers et al., 2014).

En cuanto al equipo selector de arvenses, este es un dispositivo manual, para la aplicación selectiva de herbicidas sistémicos postemergentes, principalmente glifosato, el cual se fundamenta en el método de aplicación de herbicidas sistémicos “rope-wick” (Dale, 1979; Guzmán et al., 2022; Matthews et al., 2014). El equipo presenta una forma de T invertida, su parte horizontal es de 0,35 m y la parte vertical de 1,30 m, es elaborado con tubería de polipropileno de alta densidad tipo IPS de una pulgada de diámetro externo, la cual no se corroe ante sustancias químicas y soporta alta presión. La tubería permite contener un volumen de 750 cm³ de la mezcla herbicida y liberarla en forma lenta, mediante el mecanismo del frasco de Mariotte (Rivera, 2000; Salazar 2015).

En el selector de arvenses, la mezcla herbicida fluye por dos orificios de salida, de 1,0 mm de diámetro cada uno, ubicados en la parte inferior del equipo, sobre la parte horizontal de la T hacia un fieltro de algodón que cubre externamente esta parte del equipo, dicho fieltro se protege del desgaste con una lámina plástica permeable; una vez saturado el fieltro con la mezcla herbicida y mediante el movimiento pendular que ejerce un operario al equipo, se libera la mezcla por capilaridad en forma lenta, permitiendo impregnar la parte aérea de las arvenses con el herbicida, causando el daño o muerte a las mismas (Rivera, 2000; Salazar 2015). Este equipo permite hacer parcheos o controles selectivos sobre las arvenses objetivo, que para el café son aquellas de interferencia alta y media (Salazar, 2021).

En el mercado colombiano hay disponibilidad de cierta variedad de selectores de arvenses de diferentes formas y tamaños; también existen

algunos equipos con ruedas, que facilitan ajustar la aplicación a una altura fija o levemente variable (entre 5,0 a 10,0 cm), y que permiten seleccionar las arvenses de acuerdo a dicha altura, favoreciendo que el suelo permanezca cubierto por arvenses de poca elevación, con menor riesgo a la erosión, sobre los cuales son escasos los reportes de evaluación en la caficultura (Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2022; Guamán et al., 2022).

El objetivo de esta investigación fue evaluar equipos y métodos de aplicación de herbicidas para el control de arvenses en el cultivo del café en términos de eficacia y eficiencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en dos etapas. En la etapa 1 se evaluó el efecto de los equipos y métodos de aplicación sobre la eficacia del control de arvenses, y en la etapa 2, se evaluó la eficiencia en el campo del Manejo Integrado de Arvenses (MIA), al utilizar las mejores opciones que resultaron de la primera etapa, sumado a la evaluación de dos equipos selectores de arvenses, con diferentes especificaciones.

Localización. La etapa 1 se llevó a cabo en las Estaciones Experimentales Naranjal (Chinchiná, Caldas) y Paraguaicito (Buenavista, Quindío), y la etapa 2 se llevó a cabo en las Estaciones Naranjal (Chinchiná, Caldas) y La Trinidad (Líbano, Tolima), la ubicación y características agroecológicas de las localidades se presentan en la Tabla 1.

Metodología de la Etapa 1

En las dos localidades, esta etapa se desarrolló en parcelas cultivadas con café variedad Castillo®, de un año de edad después de trasplante, sembrados a 1,0 m x 1,4 m, en un terreno con un grado de pendiente del 10%. La unidad experimental constaba de 28 plantas de café y un área de 39,2 m², la cual se componía de diez plantas de café efectivas, ubicadas en el centro de la parcela. En la etapa 1 se evaluaron ocho tratamientos descritos en la Tabla 2.

En los tratamientos en los cuales se utilizó herbicida, se usó pantalla protectora y glifosato 480 g L⁻¹ en dosis de 3,0 L ha⁻¹, la aplicación se realizó una vez las arvenses alcanzaron una altura entre 10 cm a 15 cm,

Tabla 1. Ubicación y características agroecológicas de las localidades experimentales.

Característica	Naranjal	Paraguaicito	La Trinidad
Municipio–Departamento	Chinchiná, Caldas	Buenavista, Quindío	Líbano, Tolima
Latitud	4°59'N	4°23'N	4°54'N
Longitud	75°39'W	75°44'W	75°02'W
Altitud (m)	1.381	1.203	1.456
Temperatura promedio (°C)	21,6	22,4	20,0
Precipitación anual (mm)	2.322	2.109	2.128

Tabla 2. Descripción de tratamientos, equipos y métodos de aplicación de la etapa 1.

Tratamiento	Equipo	Boquilla	Presión	Pantalla	Batería
1	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 65 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro	Litio 3,2 V
2	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 110 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro	Litio 3,2 V
3	Aspersor de bombeo eléctrico	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa	Campana, abanico de 80° RC-H-02	Ion-Litio recargable 12 VDC
4	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa, con regulador CFV R1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
5	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,099 MPa, con regulador CFV Y1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
6	Aspersor de bombeo manual	Teejet AI110015-VS	Constante de 0,199 MPa, con regulador CFV B1116SY	Campana, abanico de 110°	No
7 *	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Sin dispositivo de regulación de presión	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No
8 **	Ninguno	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

* Testigo relativo, ** Testigo absoluto—sin control de arvenses. N.A. No aplica.

condición que se logró 15 días después de un corte de las arvenses con guadañadora. La pantalla protectora del equipo eléctrico de pulverización centrífuga es una campana plástica de 37 cm de diámetro que hace parte del modelo comercial, y la de los equipos de bombeo eléctrico y manual es una pantalla plástica en forma de abanico o campana de 80° y de 110° que se adaptó según la referencia de

la boquilla utilizada, las cuales se acoplaron con empaques de goma para que se ajustaran a los reguladores de presión y a las lanzas de aplicación empleadas.

Como variable de respuesta se evaluó el porcentaje de cobertura de arvenses sobre el suelo con la aplicación Canopeo^{®1} (Patrignani & Ochsner, 2015), a los 21, 35 y 60 días

¹ Aplicación desarrollada por el Grupo de Investigación en Física de Suelos de Oklahoma State University Soil, versión 1.1.7. de 2015, para Android.

después de la aplicación (dda) en la Estación Naranjal y en Paraguaicito, 21 35 y 55 dda. En cada unidad experimental se realizaron seis muestreos, los cuales se promediaron para obtener un solo valor por unidad experimental, por cada época de evaluación. Mediante el análisis de regresión lineal simple, se verificó que los resultados de la medición de cobertura de arvenses con la aplicación Canopeo® fuera semejante a la medición visual realizada con el cuadrado de 0,25 m². Como variable complementaria se evaluó la incidencia de plantas sin síntomas de fitotoxicidad por herbicida, a los 21 y 35 dda, y el volumen

de aplicación (agua + herbicida) por parcela, el cual se estimó para una hectárea en 250 L.

Metodología etapa 2

En las dos localidades, la etapa 2 se desarrolló en parcelas cultivadas con café variedades Castillo® y Cenicafé 1, con un área promedio de 2.000 m² de uno a dos años de edad, con una densidad de siembra de 7.142 plantas/ha y grados de la pendiente entre 5% a 30%. Se evaluaron entre 12 a 20 aplicaciones (repeticiones) y seis tratamientos, descritos en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de tratamientos, equipos y métodos de aplicación de la etapa 2.

Tratamiento	Equipo	Boquilla	Presión	Pantalla	Batería	Número de aplicaciones
1	Aspersor de pulverización centrífuga	De gravedad, caudal 65 cm ³ min ⁻¹	Por gravedad	Campana circular de 37 cm de diámetro, modificada	Litio 3,2 V	12
2	Aspersor de bombeo eléctrico	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa	Campana, abanico de 80°	Ion-Litio recargable 12 VDC	12
3	Aspersor de bombeo manual	Teejet 8001-VS	Constante de 0,145 MPa, con regulador CFV R1116SY	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No	12
4	Selector de arvenses con ruedas*	N.A.	Por gravedad, regulada por principio de frasco de Mariotte	Sin pantalla	No	20
5	Selector de arvenses**	N.A.	Por gravedad, regulada por principio de frasco de Mariotte	Sin Pantalla	No	14
6	Aspersor de bombeo manual ***	Teejet 8001-VS	Sin dispositivo de regulación de presión	Campana, abanico de 80° RC-H-02	No	14

* De 35 cm de ancho de aplicación, ruedas de 15,24 cm de diámetro, tubería IPS de 2,54 cm de diámetro y 1,35 m de altura.

** similar al tratamiento 4 pero sin las ruedas, *** testigo. N.A.= no aplica.

En los tratamientos 1, 2, 3 y 6 se usó pantalla protectora y glifosato 480 g L⁻¹ en dosis de 3,0 L ha⁻¹, y en los tratamientos 4 y 5 se aplicó el mismo herbicida, en concentración del 10% (900 cm³ de agua + 100 cm³ de herbicida). Las aplicaciones se realizaron una vez las arvenses alcanzaron una altura entre 10 a 15 cm, lo cual se logró 15 a 21 días después de un corte de las arvenses con guadañadora. La aplicación de herbicida se hizo por focos o parcheos, sobre las arvenses de interferencia alta y media en el cultivo de café, permitiendo el establecimiento de arvenses nobles (Salazar, 2021).

La pantalla protectora del equipo de pulverización centrífuga fue una campana plástica de 37 cm de diámetro similar a la empleada en la etapa 1, pero para esta etapa se le adaptó un protector adicional en forma de ruana plástica, con el fin de disminuir los efectos de fitotoxicidad que pudiese ocasionar al cultivo. La pantalla utilizada en los equipos de aspersión de bombeo eléctrico y manual tiene forma de abanico o campana de 80°, la misma que la utilizada en la etapa 1.

Las variables de respuesta del estudio fueron el tiempo neto (aplicando), tiempo muerto (sin aplicar) y total (aplicando y sin aplicar) empleado en la labor (h ha⁻¹), además del volumen de aplicación (agua + herbicida) y volumen de herbicida empleado por cada aplicación (L ha⁻¹). Como variable complementaria se evaluó el porcentaje de cobertura de arvenses sobre el suelo, medida con la aplicación Canopeo® a los 21 y 35 días después de la aplicación (dda), para esto se realizaron treinta mediciones por parcela, que se promediaron para obtener un solo valor por parcela, en cada época de evaluación.

Análisis estadístico. Para el análisis de la información en ambas etapas se realizó análisis descriptivo (promedios y error estándar) de

las variables respuesta y complementarias. En la etapa 1 se realizó análisis de varianza al 5% para el diseño bloques completos al azar y prueba de comparación de Dunnett al 5%. En la etapa 2 se realizó la prueba t al 5% e intervalos de confianza al 95% para cada tecnología de aplicación, teniendo como repeticiones las aplicaciones por tratamiento.

RESULTADOS

ETAPA 1

Calibración de la medición de cobertura. El porcentaje de cobertura de arvenses obtenido mediante la aplicación móvil Canopeo®, explicó en el 93% el resultado del porcentaje de cobertura de arvenses, medido mediante el método visual con el cuadrado de áreas de 0,25 m² (Figura 1). Lo anterior corrobora que es una herramienta precisa para la evaluación de la cobertura de arvenses en el campo.

Eficacia del control de arvenses. En los diferentes períodos evaluados, tanto en Naranjal como en Paraguaicito, los tratamientos presentaron efecto en el porcentaje de cobertura de arvenses, sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas de los equipos y técnicas de aplicación frente al testigo relativo (tratamiento 7), según la prueba Dunnett al 5% (Figura 2). En ambos sitios, la cobertura de arvenses del tratamiento 8 (testigo absoluto sin aplicación de herbicida) fue mayor que la obtenida con el resto de los tratamientos a los 21 y 35 dda, según la prueba Dunnett al 5% (Figura 2).

Fitotoxicidad al cultivo. El equipo de pulverización centrífuga (tratamientos 1 y 2) propició mayor incidencia de fitotoxicidad por herbicida en las plantas de café en Naranjal, lo que se comprobó solo a los 21 dda, al presentar diferencias estadísticas según la prueba Dunnett al 5% frente al testigo sin

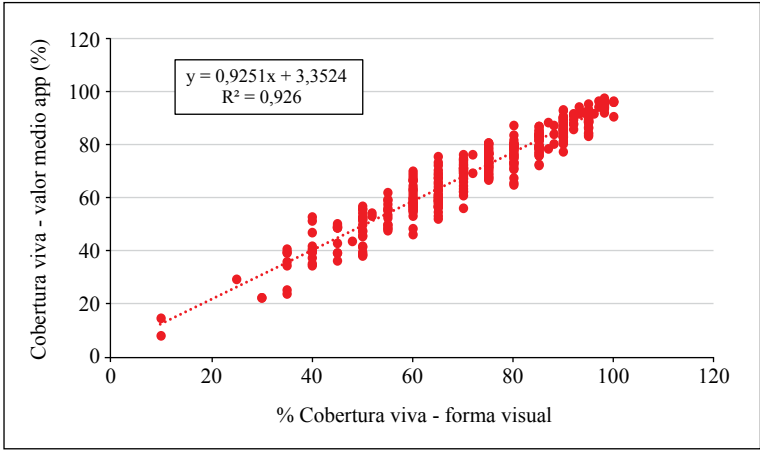


Figura 1. Relación del porcentaje de cobertura de arvenses medidas en forma visual y con la aplicación computacional Canopeo® en la Estación Paraguaicito, a partir de 381 muestreos.

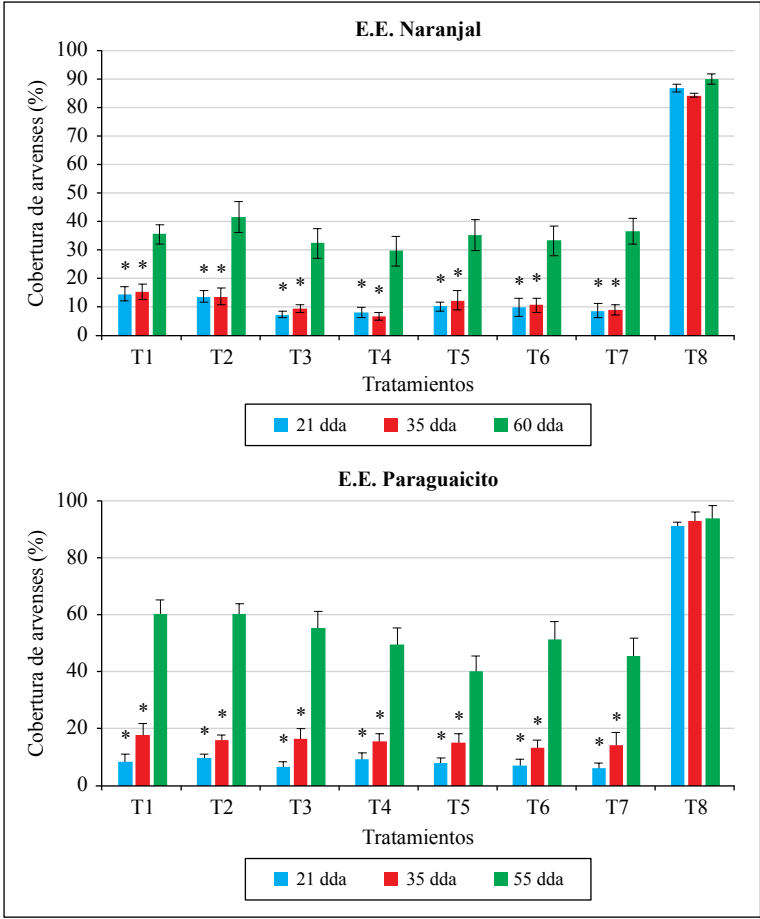


Figura 2. Cobertura de arvenses en el cultivo del café, días después de la aplicación de herbicida (dda) con diferentes equipos y métodos. Las barras indican error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 8, según prueba Dunnett al 5%.

aplicación de herbicida (tratamiento 8) (Figura 3). A los 35 dda no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas al 5% en cuanto a esta variable, se explica que la fitotoxicidad observada a los 21 dda fue leve y las plantas lograron su recuperación a los 35 dda.

Por otro lado, en Paraguaicito el análisis de varianza, con un nivel de significancia del 5%, permitió inferir que los tratamientos no tuvieron efecto sobre la incidencia de fitotoxicidad en las plantas de café. En esta localidad, en condiciones naturales, las plantas expresaron signos que pueden confundirse con

la fitotoxicidad por herbicidas, como: clorosis, necrosis y síntomas de deficiencia de algunos nutrientes, que fueron registrados de igual forma en el tratamiento testigo sin aplicación de herbicida (tratamiento 8), por esta razón en esta localidad fue difícil dilucidar el efecto de los tratamientos sobre esta variable.

Volumen de aplicación. En las Estaciones Naranjal y Paraguaicito el volumen de aplicación fue mayor al utilizar la boquilla de aire inducido (tratamiento 6) (389 y 280 L ha⁻¹, respectivamente) comparado con el tratamiento testigo que utilizó 300 y 200 L ha⁻¹,

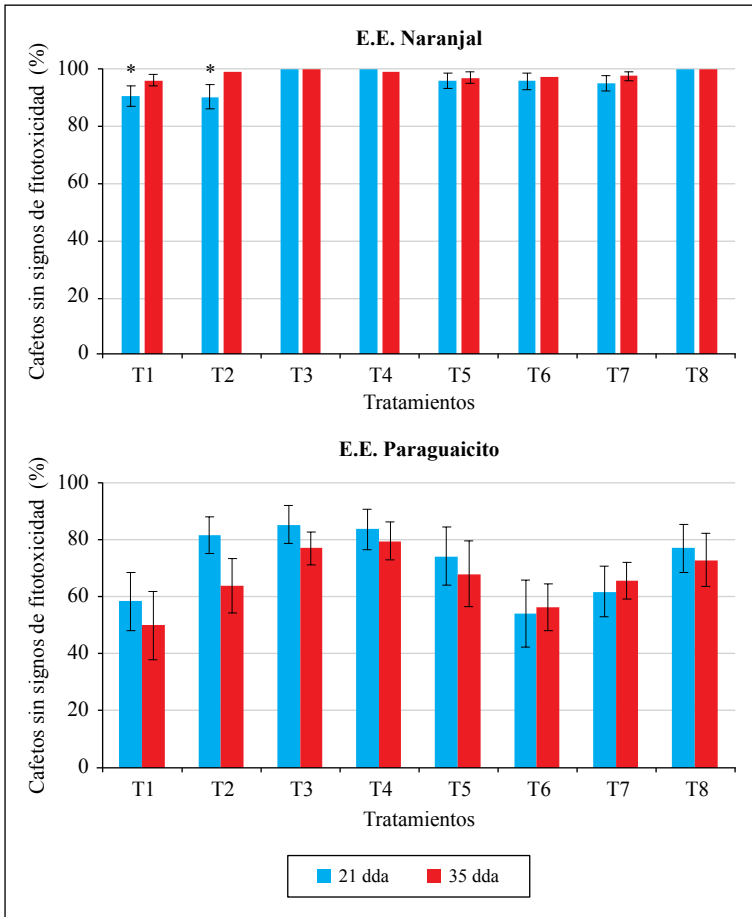


Figura 3. Incidencia de plantas de café sin signos de fitotoxicidad por herbicida, como resultado de la utilización de diferentes equipos y métodos de aplicación. dda: días después de la aplicación. Las barras indican error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 8 según prueba Dunnett al 5%.

respectivamente; mientras que el equipo de pulverización centrífuga (tratamiento 1) obtuvo el menor valor (58 y 42 L ha⁻¹, respectivamente). Además, en Naranjal el equipo de bombeo eléctrico (tratamiento 3) y el uso de reguladores de presión (tratamientos 4 y 5), se diferenció al presentar menor volumen de aplicación respecto al testigo relativo (tratamiento 7), según la prueba Dunnett al 5% (Figura 4). En Paraguaicito el uso de regulador de presión de 0,099 MPa (tratamiento 5), redujo el volumen de aplicación respecto al testigo relativo (tratamiento 7).

ETAPA 2

Eficiencia de la labor. En cuanto al tiempo empleado en realizar la labor (h ha⁻¹), tanto neto (aplicando) como total (aplicando y sin aplicar), no se presentaron diferencias de los tratamientos según prueba t al 5%. Respecto al tiempo muerto (sin aplicar) relacionado con la labor el selector de arvenses con ruedas (tratamiento 4), presentó un menor valor comparado con el testigo (tratamiento 6) (prueba t al 5%). En términos descriptivos, el mayor valor de tiempo empleado en la labor, tanto neto como

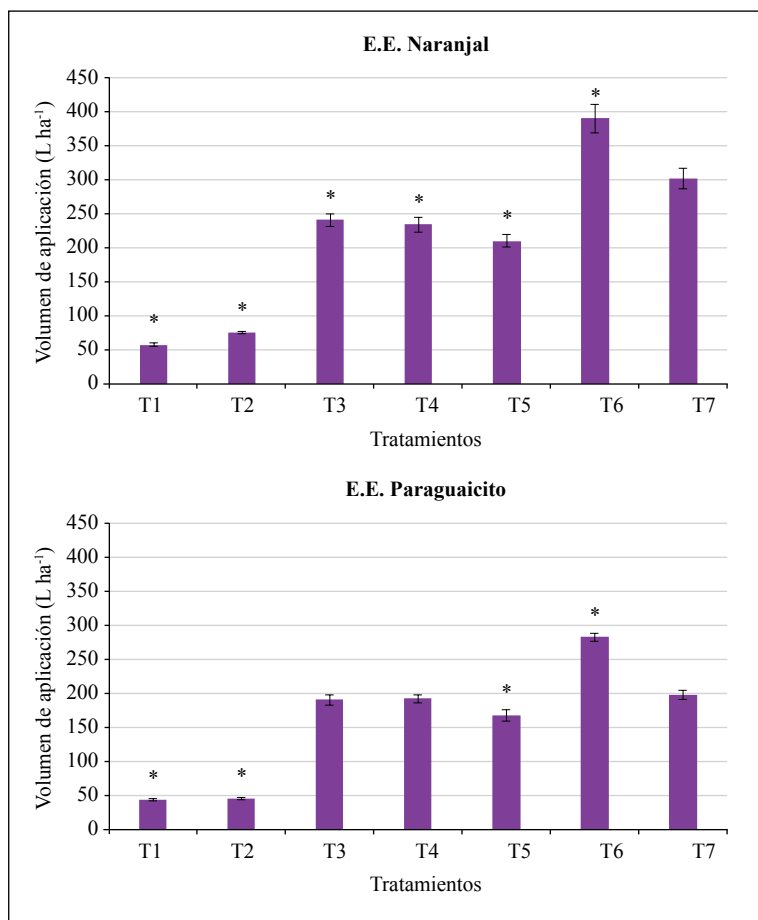


Figura 4. Volumen de aplicación por hectárea estimado para cada tratamiento en condiciones de las EE Naranjal y Paraguaicito. Las barras representan el error estándar. Los asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística frente al tratamiento testigo 7 según prueba de Dunnett al 5%.

total, fue para el tratamiento 1 (36,6 h ha⁻¹ y 40,8 h ha⁻¹, respectivamente) y el menor valor para el tratamiento 3 (27,4 h ha⁻¹ y 30,3 h ha⁻¹, respectivamente) (Figura 5). El mayor valor empleado en tiempo muerto relacionado con el equipo o método de aplicación fue para el tratamiento 1 (4,2 h ha⁻¹) y el menor valor fue para el tratamiento 4 (2,2 h ha⁻¹) (Figura 5).

Volumen de aplicación y de herbicida. De acuerdo con la prueba t al 5% pudo inferirse que el volumen de aplicación fue menor para los tratamientos 4, 5 y 1 (20,7; 30,6 y 108,2 L ha⁻¹, respectivamente) (Figura 6) los cuales fueron diferentes al testigo relativo (tratamiento 6) (325,4 L ha⁻¹). Referente al volumen de herbicida, la calibración previa a la aplicación de los tratamientos 1, 2, 3 y 6 fue realizada para la aspersión de 3,0 L ha⁻¹ de producto comercial de glifosato, alcanzado el promedio determinado (Figura 7). El tratamiento de selector de arvenses con ruedas (tratamiento 4) presentó menor valor de uso de herbicida (2,2 L ha⁻¹) que el testigo (tratamiento 6) (3,4 L ha⁻¹).

El tratamiento 2 presentó, tanto en Naranjal como en La Trinidad, un daño reiterado en el manómetro, que cumple la función de regulador de la presión, por lo tanto, en diferentes momentos la presión de salida, a pesar que el manómetro indicaba la presión de 0,145 MPa, el volumen de aplicación correspondía al realizado a una presión mayor a 0,275 MPa (40 psi), por esto se derivó en el mayor valor promedio de uso de herbicida por hectárea (3,9 L ha⁻¹), lo anterior se consideró como un defecto propio del equipo, que se repitió en dos equipos diferentes y en las dos localidades donde se llevó a cabo la evaluación.

Fitotoxicidad al cultivo. En términos descriptivos, el equipo de pulverización centrífuga (tratamiento 1), al igual que lo encontrado en la etapa 1, propició la mayor incidencia promedio de fitotoxicidad por herbicida en las plantas de café (Figura 8); no obstante, el intervalo de confianza al 95% no evidenció diferencia de este tratamiento frente al intervalo alcanzado por el testigo (tratamiento 6).

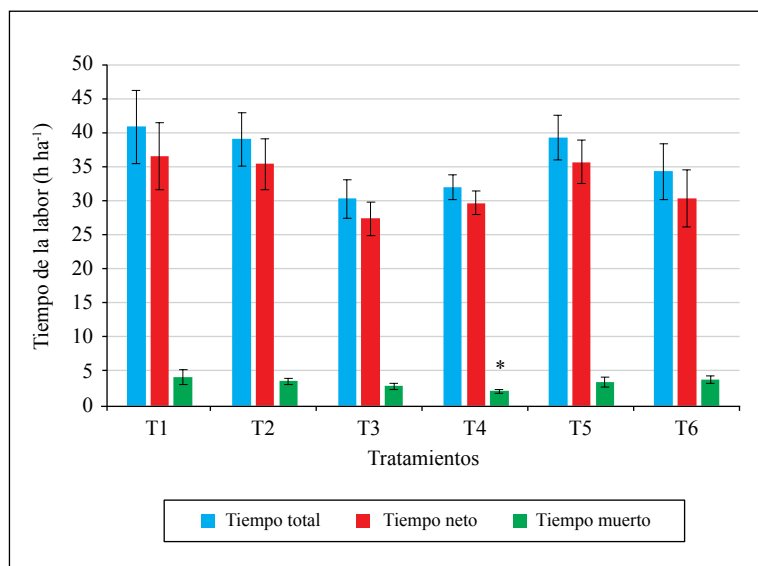


Figura 5. Tiempo promedio empleado en la labor, con diferentes tratamientos. Las barras representan el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo 6 según prueba t al 5%.

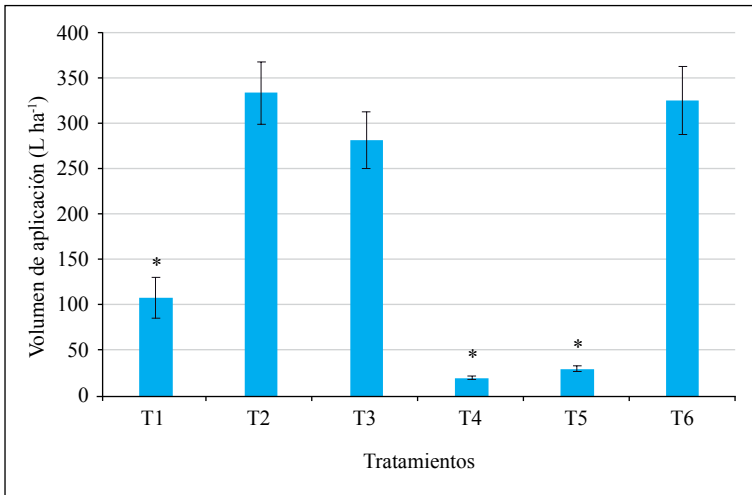


Figura 6. Volumen de aplicación por hectárea para cada tratamiento. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo (tratamiento 6) según prueba t al 5%.

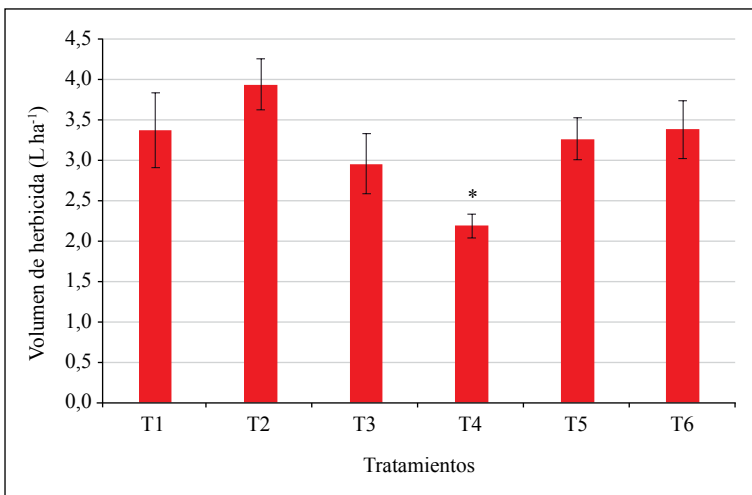


Figura 7. Volumen de herbicida por hectárea para cada tratamiento. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo 6 según prueba t al 5%.

Cobertura de arvenses. A los 21 dda, de acuerdo con la prueba t al 5%, en los tratamientos 1, 2 y 3 se obtuvo similar valor de cobertura de arvenses en comparación con el tratamiento 6, mientras que los tratamientos 4 y 5 superaron al tratamiento testigo (tratamiento 6), con valores de cobertura alrededor del 50%, valor que es favorable en la conservación del suelo (Figura 9). Igual

comportamiento se presentó a los 35 dda, los tratamientos 1, 2 y 3 alcanzaron valores de cobertura de arvenses similares a los del tratamiento testigo (tratamiento 6); mientras que los tratamientos 4 y 5 superaron el valor promedio de cobertura del testigo (tratamiento 6) hasta alcanzar valores entre 60% a 70%, siendo esto algo deseable dentro del programa de MIA.

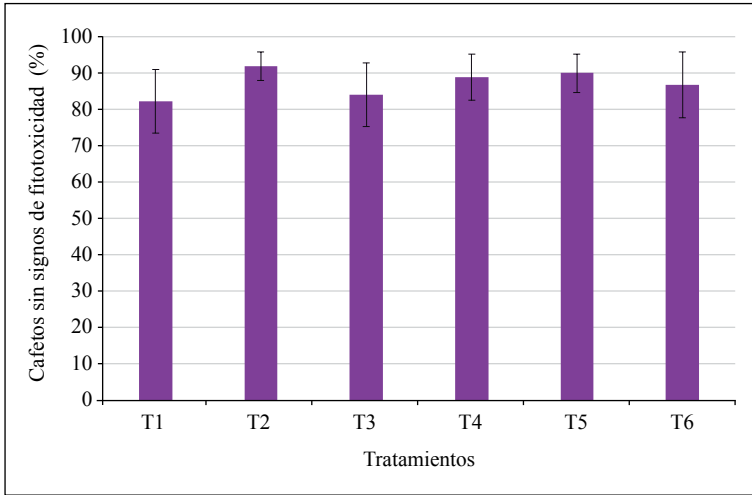


Figura 8. Incidencia de fitotoxicidad por herbicida, como resultado de la utilización de diferentes equipos y métodos de aplicación. Las barras indican el intervalo de confianza al 95%.

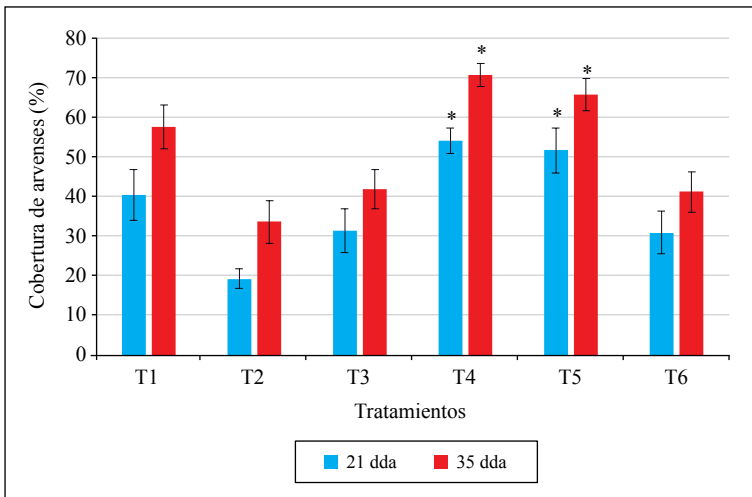


Figura 9. Cobertura de arvenses en el cultivo del café, días después de la aplicación (dda) de herbicida con diferentes equipos y métodos en el MIA. Las barras indican el error estándar. Asteriscos sobre las barras indican diferencia estadística con el tratamiento testigo (tratamiento 6) según prueba t al 5%.

DISCUSIÓN

En la etapa 1, donde se realizaron aspersiones generalizadas sobre las arvenses, ninguno de los tratamientos superó al testigo relativo (tratamiento 7), en cuanto a la eficacia en la reducción de la cobertura de arvenses. En síntesis, se demuestra que las tecnologías evaluadas son viables en el control de

arvenses. En esta investigación se hallaron resultados semejantes a los de De Cauwer et al. (2023) y Pitty et al. (2010), quienes no encontraron diferencia en la eficacia del control de arvenses con glifosato, al utilizar boquilla de aire inducido (AI110 03VS) frente a la boquilla de abanico (XR110 03VS), a pesar de que hubo diferencia en el tamaño de la gota y volumen de aplicación entre ambas

tecnologías. Con respecto a lo encontrado, debe tenerse en cuenta que al realizar la calibración y regular, tanto la presión como la velocidad de aplicación, el uso de equipos de palanca sin válvula reguladora de presión (testigo relativo) permite un control eficaz de arvenses, más aún en condiciones experimentales controladas.

En esta misma etapa, puede resaltarse que el equipo de bombeo eléctrico con una presión regulada de 0,145 MPa, y el de bombeo manual con el uso de reguladores de presión de 0,145 y 0,099 MPa, fueron viables para la aplicación de herbicidas, porque se relacionaron con la baja incidencia de fitotoxicidad del cultivo y con el ahorro de agua en la aplicación. No obstante, se observó que el uso del regulador de 0,099 MPa (14 psi), posiblemente debido a la alta retención de la presión en el sistema de conductos del dispositivo, generaba constantes daños en las mangueras y accesorios del equipo.

Por otro lado, el uso de la boquilla AI110015-VS generó el mayor volumen de aplicación con relación al testigo relativo, similar a lo encontrado por De Cauwer et al. (2023), y se tradujo en mayor consumo de agua por hectárea, situación que no es recomendable en condiciones de la región cafetera de Colombia, donde este recurso debe utilizarse de manera racional y el transporte de altos volúmenes de agua hacia los lotes ubicados en condiciones de alta pendiente y distantes, se hace difícil. La boquilla de aire inducido (AI) presenta mayor cantidad de gotas grandes, comparado con la de abanico Teejet 8001, lo anterior se debe a la mezcla del agua con aire al interior de la boquilla, haciendo que a presión de 0,199 MPa (29 psi) tenga gotas extremadamente grandes (Pitty et al., 2010; Spraying Systems Co. 2004), generando así la cualidad de antideriva típica de la boquilla. También fue evidente que el uso de la boquilla AI representó desde el origen, unas características de descarga, ángulo y presión

de salida mayor, que la hicieron desventajosa frente al testigo relativo, razón adicional para el mayor volumen de aplicación encontrado.

El equipo eléctrico de pulverización centrífuga en la Estación Naranjal, se relacionó con la mayor incidencia de fitotoxicidad al cultivo, por esta razón debe considerarse que, durante su utilización deben reducirse las posibilidades de deriva al cultivo, restringir su utilización solo a parcheos sobre arvenses de interferencia alta y no utilizarlo en aplicaciones generalizadas. La implementación en todos los tratamientos de la pantalla protectora, la regulación de la altura de la boquilla entre 20 a 30 cm sobre el suelo, la ubicación de la boquilla en el sentido de calle, garantizar las arvenses a una altura inferior a 15 cm en el momento de la aplicación, la capacitación de los operarios y tener en cuenta las condiciones de clima, fueron factores que pudieron estar relacionados con la baja incidencia de fitotoxicidad encontrada en los distintos tratamientos.

En la etapa 2, en el MIA, donde se realizaron parcheos selectivos sobre las arvenses de interferencia alta y media con el cultivo del café, el tiempo de aplicación por hectárea, tanto neto como total, con todos los tratamientos empleados, fue similar al testigo (tratamiento 6). El hecho de que el operario tuviese una mano libre y que evitara el bombeo con la palanca en los tratamientos 1 y 2, no se reflejó en un uso más eficiente del tiempo, con relación al tratamiento testigo tratamiento 6. Se observó mayor pericia de los operarios al manejar equipos convencionales de palanca, que con aquellos que contaban con implementos eléctricos, lo anterior, debido a que los primeros son utilizados con más frecuencia en las labores agrícolas cotidianas.

Para el MIA, el equipo de bombeo eléctrico, en términos descriptivos, propició el mayor volumen de aplicación y de herbicida, y el

más bajo promedio de cobertura de arvenses sobre el suelo, esto posiblemente debido al daño frecuente del sistema de regulación de presión que el equipo presentó en ambas localidades, problema que no se manifestó en la etapa 1 de la investigación. Es probable, tal como lo reportan Sinha et al. (2018), que este tipo de equipo de bombeo eléctrico sea más eficiente a mayor presión (0,28 MPa) que la utilizada en la presente investigación (0,145 MPa).

Se resalta el menor tiempo muerto alcanzado con el selector con ruedas, lo anterior posiblemente debido a que fue necesario emplear menor tiempo en mantenimiento por daños y obstrucciones del equipo, y que al demandar menor volumen de agua requirió menor tiempo en desplazamiento hasta el sitio de recarga y menor tiempo en el abastecimiento.

Los selectores de arvenses (tratamientos 4 y 5), tanto el recomendado por Cenicafé como el dispositivo con ruedas, presentaron los volúmenes por hectárea más bajos de aplicación (20 y 30 L ha⁻¹, respectivamente), seguido por el equipo eléctrico de pulverización centrífuga (100 L ha⁻¹), siendo eficientes en el uso del agua y considerados como aplicaciones de muy bajo volumen a bajo volumen, respectivamente (Matthews et al., 2014; Guamán et al., 2022).

El selector de arvenses con ruedas, en las condiciones del estudio, utilizó menor volumen de herbicida (2,2 L ha⁻¹) que el selector de arvenses que es recomendado actualmente por Cenicafé, con 3,3 L ha⁻¹ (Salazar, 2015) y que el tratamiento testigo (tratamiento 6) con 3,4 L ha⁻¹, de modo que es adecuado dentro del MIA, que busca el uso racional de herbicidas. El menor movimiento al que está expuesto el selector de arvenses con ruedas, comparado con el selector de arvenses convencional, se debe principalmente a que el primero permanece a una altura del suelo poco variable, lo que

podría explicar el menor volumen de aplicación y de herbicida requerido.

Los selectores de arvenses en el MIA generaron mayor cobertura promedio de arvenses sobre el suelo, la cual estuvo constituida por arvenses nobles principalmente (Salazar, 2021), comparado con los equipos de aspersión de bombeo eléctrico y de bombeo manual, lo cual es deseable para la conservación del suelo. En esta etapa, no se presentaron diferencias en cuanto a la incidencia por fitotoxicidad al café; no obstante, la aplicación de glifosato con cualquier equipo o método debe hacerse de manera cuidadosa, para disminuir el riesgo de daño al cultivo y prevenir efectos en la salud de los operarios (Gómez y Rivera, 1994; Castanheira et al., 2019).

En el MIA, el uso del regulador de presión de 0,145 MPa (21 psi) en el equipo de aspersión de bombeo manual (tratamiento 3) fue consistente con la calibración previa a la aplicación, siendo el único equipo de aspersión que en promedio se acercó a la dosis de herbicida objetivo de 3,0 L ha⁻¹, en consecuencia, el uso de las válvulas CFV es una ventaja, corroborada por McAuliffe & Gray (2002) y Moreno Mena (2011).

AGRADECIMIENTOS

En Cenicafé a Carlos Gonzalo Mejía M.Sc., líder de la Disciplina de Experimentación y a Siavosh Sadeghian Ph.D., líder de la disciplina de Suelos. A Fabio Alexis Torres Angarita M.Sc. por su asesoría en la formulación de la propuesta de investigación y al tecnólogo Sebastián García por su colaboración en el procesamiento de datos en las primeras etapas de la investigación. A Jhon Anderson Bartolo Becerra, pasante de la Universidad de Caldas por su colaboración. A Yesenia Muñoz, Arturo Gómez Valencia, Diego Osorio y Gildardo Salinas por su apoyo en las labores de campo.

Esta investigación fue financiada por recursos propios: Proyecto SUE 103006.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Redacción- borrador original,

Análisis formal, Metodología, Adquisición de fondos: LFS; Supervisión, Visualización, Administración de proyecto, Redacción-revisión y edición: LFS, MCH, DAF, JFT; Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Centro Nacional de Investigaciones de Café. (2022). Informe Anual Cenicafé 2022. <https://doi.org/10.38141/10783/2022>
- Castanheira, D. T., Alecrim, A. de O., Voltolini, G. B., Rezende, T. T., Netto, P. M., & Guimarães, R. J. (2019). Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. *Coffee Science*, 14(1), 76–82. <https://coffeescience.ufra.br/index.php/Coffeescience/article/view/1530>
- Combella, J. H., Westen, N. M., & Richardson, R. G. (1996). A comparison of the drift potential of a novel twin fluid nozzle with conventional low volume flat fan nozzles when using a range of adjuvants. *Crop Protection*, 15(2), 147–152. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/0261-2194(95)00089-5)
- Dale, J. E. (1979). A Non-Mechanical System of Herbicide Application with a Rope Wick. *PANS*, 25(4), 431–436. <https://doi.org/10.1080/09670877909414367>
- De Cauwer, B., De Meuter, I., De Ryck, S., Dekeyser, D., Zwertvaegher, I., & Nuyttens, D. (2023). Performance of Drift-Reducing Nozzles in Controlling Small Weed Seedlings with Contact Herbicides. *Agronomy*, 13(5), 1342. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051342>
- Doll, J., & Fuentes, C. (1981). *Factores que condicionan la eficacia de los herbicidas*. (2a ed.). CIAT. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/28803>
- Fee, C. G., Siang, C. S., & Ramalingam, B. (1999). Evaluation of 3 types of knapsack equipment for spraying cypermethrin to control *Adoretus compressus* and *Oryctes rhinoceros* in immature palms. *Proceedings of the 5th International Conference on Plant Protection in the Tropics*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Gómez, A., & Rivera, H. (1994). Aplicación segura de los herbicidas en el manejo integrado de malezas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 205, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/1064>
- Guamán Ilvis, G. V., Andrade Yarpas, M. D., Carrera Oscullo, P. D., & Taco Ugsha, M. Á. (2022). Aplicación integral de herbicidas mediante selector en cultivos de cacao en Sucumbios—Ecuador. *Green World Journal*, 5(2), 17. <https://doi.org/10.53313/gwj520018>
- Johnstone, D. R., Johnstone, K. A., & Andrews, M. (1977). Performance Characteristics of a Hand-carried Battery-operated Herbicide Sprayer. *PANS*, 23(3), 286–292. <https://doi.org/10.1080/09670877709412453>
- Matthews, G. A., Bateman, R., & Miller, P. (2014). *Pesticide application methods* (4a ed.). Wiley Blackwell.
- McAuliffe, D., & Gray, V. P. (2002, febrero 13-16). Application Technology Problems and Opportunities with Knapsack Sprayers including the CF Valve or Constant flow Valve. En Fernández-Northcote E. N. (Ed.), *Memorias del taller internacional Complementando la resistencia al tizón (Phytophthora infestans)* (pp. 81–91). Centro Internacional de la Papa.
- Mohan, S. S., Ajay, A., & Kishore, A. (2021). Plant Protection Equipments. En S. V. S. Raju & K. R. Sharma (Eds.), *Recent Trends in Insect Pest Management* (pp. 101–122). AkiNik Publications. <https://doi.org/10.22271/ed.book.1234>
- Moreno Mena, J. M. (2011). *Manual Mantenimiento y calibración de aspersoras manuales en pequeños cultivos de banano y plátano*. Asociación de Bananeros de Colombia.
- Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312–2320. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0150>

- Pfalzer, H. (2004). Spraying Equipment for Coffee. En *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (pp. 565–589). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9783527619627.ch21>
- Pitty, A., Barrios, E. E., & Reconco, R. (2010). Boquillas de Abanico Plano de Amplio Espectro y por Aire Inducido en la Eficacia de Glifosato y Paraquat. *Ceiba*, 51(2), 54–60. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v51i2.1107>
- Rivera, H. (2000). El selector de arvenses modificado. *Avances Técnicos Cenicafé*, 271, 1–4. <http://hdl.handle.net/10778/4188>
- Spraying Systems. (2004). *Guía del Usuario de Boquillas de Pulverización* [Manual]. TeeJet. <http://www.aerocampo.com/pdf/guia-del-pulverizador.pdf>
- Salazar-Gutiérrez, L. F. (2015). Uso del selector de arvenses en cultivos de café: Recomendaciones prácticas. *Avances Técnicos Cenicafé*, 462, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0462>
- Salazar-Gutiérrez, L., Hincapié, É., Menza, H. D., & Torres, F. A. (2020). Manejo de arvenses en los sistemas de producción de café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café (Ed.), *Manejo Agronómico de los Sistemas de Producción de Café* (pp. 150–196). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0002_5
- Salazar-Gutiérrez, L. (2021). *Arvenses frecuentes en el cultivo del café en Colombia*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0015>
- Schrübbbers, L. C., Valverde, B. E., Sørensen, J. C., & Cedergreen, N. (2014). Glyphosate spray drift in *Coffea arabica*—Sensitivity of coffee plants and possible use of shikimic acid as a biomarker for glyphosate exposure. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 115, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.08.003>
- Sinha, J. P., Singh, J. K., Kumar, A., & Agarwal, K. N. (2018). Development of solar powered knapsack sprayer. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(4), 590–595. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i4.79122>
- Sinha, Y., Chauhan, J., Tandan, J., Patel, K., & Kaushik, S. P. (2019). Development of Multipurpose Battery Operated Wheel Sprayer. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(11), 1766–1772. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.811.207>
- Westwood, J. H., Charudattan, R., Duke, S. O., Fennimore, S. A., Marrone, P., Slaughter, D. C., Swanton, C., & Zollinger, R. (2018). Weed Management in 2050: Perspectives on the Future of Weed Science. *Weed Science*, 66(3), 275–285. <https://doi.org/10.1017/wsc.2017.78>

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.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola, M.Sc.
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola, M.Sc.
Wílmar A. 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. en
Ingeniería
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga, M.Sc.
Luz Fanny Echeverry G., Química
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Paola Andrea Calderón T., Tecnóloga en Producción
Agropecuaria Ecológica
Wilson Vargas L.
Víctor Manuel Castañeda G.

Economía

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.
Faber de Los Ríos P.

Diana Marcela Giraldo V.
José Robín García C.
Gloria Patricia Naranjo E.
Ramón Antonio Montoya C.
Paula Andrea Figueroa V., Pasante
Santiago Hernando Rengifo R., Pasante
David Mauricio Guzmán J., Pasante

Fisiología Vegetal

Tatiana María Saldaña V., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Aristóteles Ortiz, Químico., M.Sc.
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Patricia Valencia V., Técnico en Producción de Café
Mario Franco A.

Fitopatología

Marco Aurelio Cristancho A., Microbiología, Ph.D.
Rosa Lilia Ferrucho., Ing. Agrónoma, Ph.D.
Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de
Computadores y Redes de Datos.
José Didier Bermúdez G., Tecnólogo en Producción
Agropecuaria
Sergio Alejandro Valencia A., Tecnólogo en Gestión de
Empresas Agropecuarias
Yoni Alejandro González A. Técnico producción de cafés
especiales
José Gilmar Carmona V.
Jesús David Ortiz M., Pasante
Lians An Yibeth González G., Aprendiz

Fitotecnia

José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Santiago Jaramillo C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo
Alexander Jaramillo J.
Valentina Cruz O., Pasante

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga, Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga, 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
Omar Villarreal
Lorena Quintero R., Pasante
Nicolás Duque S., 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.
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc.
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química, M.Sc.
Juan Carlos Vargas R., Arquitecto
Carol Vanessa Osorio V., Ing. de Alimentos*
Willy Fernando Rojas B. Ing. Agroindustrial*
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura
Samuel Castañeda
Juan Carlos Ortiz F.
Samuel Osbaldo López G.
Cristian David Rendón L.
Jaylith Melissa Valencia Q., Aprendiz

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc., Ph.D.
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga, M.Sc.
Vanessa Catalina Díaz P., Química, M.Sc.
Eliana Gómez A., Tecnóloga Química
Juan Manuel Rendón R. Tecnólogo Químico
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 Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo, M.Sc. en sistemas de producción Agropecuaria
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.
José Gerónimo Londoño L., Aprendiz

Estación Experimental El Rosario

León Darío Caicedo R., Agrónomo, Esp.

Estación Experimental El Tambo

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

Estación Experimental La Catalina

Héctor Flabio Álvarez A., Ing. Agrónomo

Estación Experimental La Trinidad

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental Paraguaito

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.

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
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Manuela Davila P., Pasante
Oriana Villar G., Aprendiz Universitario

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, M.Sc
Miguel Alfonso Castiblanco C., Bibliotecólogo/Ing. de Sistemas, Esp., M.Sc
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, 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
Paula Andrea García M., Ingeniera Ambiental, Esp.
Jennifer Largacha M., Aprendiz

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.
Luz Adriana Jiménez Q., Técnico profesional en Contabilidad y Finanzas
Kelly Johanna Agudelo G., Administradora de Empresas
Ana María Giraldo B., Abogada
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.
Natalia Galeano G., Pasante

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

Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Brahian Steven Narváez G., Tecnólogo en Contabilidad y Finanzas
Angie Paola Zapata C., Aprendiz

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
Robinson Guzmán G., Técnico Electricista
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
Oscar 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 López L., Técnico en plantas industriales
José Alexander Marín A., Técnico en administración de la

producción de Café
Freddy Alexander Sánchez O.
Uriel López P.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Ferney Cifuentes R.
Steven Saldarriaga V.
Amy Buitrago S., 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.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Yesica Alejandra Colorado G., Pasante

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc., PMP®
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp., PMP®
Lina Marcela Patiño G., Administradora de Empresas, Esp.
Leydi Tatiana Rincón R., 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.

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame.
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas.
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*.
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva.
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural.
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>: $A = R \times K \times S \times L \times C \times P <1>$.
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura.
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas.

TABLAS Y FIGURAS

- Elabore las tablas en el formato de tabla de Word o de Excel.
- No las incluya en el documento como fotos o imágenes.
- Las cifras decimales sepárelas con una coma, no con punto.
- Las tablas deben titularse en la parte superior y al enunciarla en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Tabla 10.
- Las tablas deben crearse en blanco y negro.
- Como norma general, las figuras deben titularse en la parte inferior, y cuando enuncie la figura en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Figura 10.
- Las fotografías se deben tomar con el mayor tamaño (número de píxeles) y la mejor calidad (Fine) posibles, ya que esto asegura mejores impresiones de informes, pósteres o publicaciones.
- Las fotografías deben nombrarse con el autor y su descripción.
- Las tablas y figuras deben presentarse en archivos independientes y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n, Figura 1... Figura n, etc.).
- Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra Word.
- Las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de Excel.
- Otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG, preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi).

ECUACIONES

- Use una sola letra para denotar una variable y emplee subíndices para particularizar.
- Para las variables utilice letra itálica.
- El producto no se denota con *. Use solamente espacios.
- Las matrices y vectores se denotan con letra en negrilla e itálica.

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.

- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ y no m^3s^{-1} , que podría indicar milisegundos).
- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - El rendimiento en peso seco fue de $5\text{ g}\cdot\text{día}^{-1}$, y no $5\text{ g de peso seco}\cdot\text{día}^{-1}$
 - Se aplicaron $25\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ del ingrediente activo, y no $25\text{ g i.a.}/\text{ha}$
 - Cada planta recibió $20\text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ de agua, y no $20\text{ g H}_2\text{O}/\text{ha}$ por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: $10\text{ °C}/\text{h}$ ó $10\text{ L}/\text{materia}$).
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama.
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre $14\text{ y }20\text{ °C}$ o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%.
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones.

BIBLIOGRAFÍA

Antes de enviar las propuestas de publicaciones tenga en cuenta que las citas deben estar ajustadas a las normas APA.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo postulado para su publicación debe ser original o inédito, y de igual manera no puede estar postulado para su publicación en otras revistas.

Título - Máximo 16 palabras

- Que sea breve y preciso.
- Que identifique el aporte del estudio, es decir, hágalo interesante pero preciso.
- Si se incluye el nombre común o el binomial (científico) de una especie en el título, utilice uno de los dos pero nunca ambos.
- No prometa más de lo que va a entregar.
- Evite el uso de subtítulos.
- Evite abreviaturas, paréntesis, fórmulas, caracteres desconocidos.
- Nombre del (los) autor (es).
- Se debe incluir la profesión y demás títulos obtenidos.
- Si el autor o alguno de los autores ya no se encuentra trabajando en Cenicafé, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año).
- Proveer una versión del título en inglés.

Resumen - Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas.
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras.

- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título.

Abstract - Máximo 250 palabras

Es la versión del resumen traducida al inglés. Debe ser preparado por el autor y debe incluirse.

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

- La naturaleza del problema, de manera concisa.
- El estado del problema (revisión de literatura).
- Solo deben citarse las referencias estrictamente pertinentes.
- No debe incluir datos, ni conclusiones del trabajo.
- El propósito de la investigación.

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo. Esté seguro de no omitir información que pueda afectar la interpretación de los resultados, es decir:

- Describa las condiciones experimentales, precisa y concisamente.
- Los detalles del medio ambiente, especímenes, técnicas, materiales y equipos deben considerarse en esta sección del artículo.
- Haga énfasis en hechos que sean nuevos.
- No entre en detalle cuando se trate de métodos estandarizados de investigación.
- Use citas de literatura si son pertinentes.
- Si un método estándar ya publicado ha sido modificado, describa la naturaleza de los cambios.
- Describa los métodos en la secuencia que va a describir los resultados.
- La primera vez que mencione un nombre científico utilice el binomial con el clasificador, ejemplo: *Coffea arabica* L.; de allí en adelante sólo use el género abreviado y escriba la especie, ejemplo: *C. arabica*.
- Siempre use el tiempo pasado.
- Defina técnicamente las variables y cómo se obtienen.
- Describa el diseño experimental o soporte estadístico, de acuerdo con el tipo de investigación.
- Describa el análisis de la información.
- Describa los criterios de decisión.

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

En este capítulo se presentan los análisis y la interpretación de los datos obtenidos en la investigación, discutidos según los resultados anteriores. Como guías deben tenerse en cuenta las siguientes:

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología.
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas).
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto.
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella.
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo.
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación.

- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano.
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto.
- El mensaje central debe ser suficientemente claro.
- Indique la aplicación de los resultados.
- Interprete los resultados.
- Discuta hechos controversiales con objetividad.
- Permítale al lector seguir su línea de pensamiento.
- Identifique resultados que abran nuevas posibilidades de estudio.
- No se sienta obligado a escribir una explicación positiva para cada faceta del estudio.
- Nunca utilice “se necesita hacer más trabajo...”
- No haga discusión trivial.

Agradecimientos - Máximo 70 palabras

Con esta sección se pretende abrir un espacio lo suficientemente notable para que se tengan en cuenta las personas que con sus aportes colaboraron a guiar o desarrollar las investigaciones o a redactar y revisar el manuscrito que se somete a consideración, y que de no existir una sección como ésta, el autor en ocasiones se ve forzado a considerarlas como coautoras del artículo. Además, debe incluir la fuente de financiación de la investigación que originó el artículo, como el código de la misma.

Literatura citada

- Se deben colocar en esta Sección sólo las referencias citadas. No más de 50 citas bibliográficas.
- La literatura se debe organizar en estricto orden alfabético.
- Las referencias deben citarse en el texto utilizando las normas APA.

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López, Ing. Agrónomo, Esp., M.Sc.

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve, Diseñadora Visual

Fotografías: Archivo Cenicafé

Para canjes con esta publicación dirigirse a:
Centro de Documentación
Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé
Manizales - Caldas - Colombia
Biblioteca.Cenicafe@cafedecolombia.com



Cenicafé

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org

La Revista Cenicafé se encuentra indizada y referenciada
en Google Académico.