

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 68 Número 1

Enero - Junio 2017



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público
Mauricio Cárdenas Santamaría
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural
Aurelio Iragorri Valencia
Ministro de Comercio, Industria y Turismo
María Claudia Lacouture
Director del Departamento Nacional de Planeación
Luis Fernando Mejía

COMITÉ NACIONAL
Período 1º enero/2015- diciembre 31/2018

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

Gerente General

Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo

Carlos Alberto González Arboleda

Gerente Financiero

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Mario Vega Roa (E)

Gerente Técnico

Hernando Duque Orrego

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

Editada en junio de 2017
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 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. 68

ENERO - JUNIO 2017

No. 1

CONTENIDO

APLICACIÓN DE AGUA OZONIZADA COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN DEL CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO DURANTE SU COMERCIALIZACIÓN. Andrés Felipe Trujillo Cosme; Carlos Eugenio Oliveros Tascón; Cesar Augusto Ramírez Gómez	7
OZONATED WATER APPLICATION AS A CONSERVATION METHOD OF WET PARCHMENT COFFEE DURING ITS COMMERCIALIZATION	7
DESCRIPCIÓN DE LA ESCAMA DE LA RAÍZ DEL CAFÉ <i>TOUMEYELLA COFFEA</i> KONDO (HEMIPTERA: COCCIDAE). Zulma Nancy Gil Palacio; Pablo Benavides Machado	15
DESCRIPTION OF THE COFFEE ROOT SOFT SCALE <i>Toumeyella coffeae</i> Kondo (HEMIPTERA: COCCIDAE)	15
DISPOSITIVO RECOLECTOR DE FRUTOS DE CAFÉ DEL SUELO PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA BROCA. Luis Miguel Constantino Chuaire; Carlos Eugenio Oliveros Tascón; Pablo Benavides Machado; César Alberto Serna Giraldo; César Augusto Ramírez Gómez; Rubén Darío Medina Rivera; Anibal Arcila	22
GROUND COFFEE FRUIT PICKING DEVICE FOR INTEGRATED PEST MANAGEMENT OF COFFEE BERRY BORER	22
EL CICLO DE LAS MANCHAS SOLARES Y LA PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN CENTRAL CAFETERA DE COLOMBIA. Fernando Alfonso González Lozano	38
THE CYCLE OF SUNSPOTS AND PRECIPITATION IN THE CENTRAL COFFEE REGION OF COLOMBIA	38
ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® A LIBRE EXPOSICIÓN SOLAR Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN. Esther Cecilia Montoya Restrepo; Juan David Hernández Arredondo; Carlos Andrés Unigarro Muñoz; Claudia Patricia Flórez Ramos	55
ESTIMATION OF FOLIAR AREA IN CASTILLO® VARIETY WITH FULL SUN AND ITS RELATION TO PRODUCTION	55
RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS EN <i>COFFEA ARABICA</i> L. Carlos Andrés Unigarro Muñoz; Rubén Darío Medina Rivera; Claudia Patricia Flórez Ramos	62
RELATION BETWEEN PRODUCTION AND PHENOTYPICAL CHARACTERISTICS IN <i>Coffea arabica</i> L.	62
ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DE SUELO EN LA REGIÓN CAFETERA DE CALDAS. Luz Adriana Lince Salazar; Andrés Felipe Castro Quintero; Wadi Andrey Castaño; Fabio Alexis Torres Angarita	73
ZONING OF SUSCEPTIBILITY BY SOIL MASS MOVEMENTS IN THE COFFEE REGION OF CALDAS	73

COMITÉ EDITORIAL

Álvaro L. Gaitán B.	Ph.D. Director, Cenicafé
Pablo Benavides M.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Juan Rodrigo Sanz U.	Ph.D. Ing. Mecánico. Ingeniería Agrícola, Cenicafé
Carmenza E. Góngora B.	Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
José Ricardo Acuña Z.	Ph.D. Biólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Siavosh Sadeghian K.	Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé

EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 68 (1)

Zulma Nancy Gil	Ph.D. Cenicafé, FNC
José Ricardo Acuña Z.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Carmenza E. Góngora B.	Ph.D. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino C.	MSc. Cenicafé, FNC

APLICACIÓN DE AGUA OZONIZADA COMO MÉTODO DE CONSERVACIÓN DEL CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO DURANTE SU COMERCIALIZACIÓN

Andrés Felipe Trujillo Cosme*; Carlos Eugenio Oliveros Tascón*; Cesar Augusto Ramírez Gómez*

TRUJILLO C., A.F.; OLIVEROS T., C.O.; RAMÍREZ G., C.A. Aplicación de agua ozonizada como método de conservación del café pergamino húmedo durante su comercialización. Revista Cenicafé 68 (1): 7-14. 2017

Se evaluó el efecto de la aplicación de agua ozonizada en la calidad física y sensorial de café pergamino húmedo comercializado durante 4 días en una Central localizada en el municipio de Chinchiná (Caldas). Diariamente se tomó una muestra de 5 kg del café comercializado, la cual se lavó con agua ozonizada a una concentración de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de O_3 durante 15 min., utilizando un volumen de agua conforme a la porosidad del café (tratamiento). En forma simultánea se almacenaron durante 96 h, bajo agua, 20 kg del café comercializado, con cambios de agua cada 24 h (testigo). El café húmedo obtenido del tratamiento y el testigo se secó hasta un contenido de humedad del 10% al 12% (base húmeda), utilizando aire con temperatura de $50 \pm 2^\circ\text{C}$. Como variables de respuesta se tuvieron el puntaje total en la escala de SCAA y el porcentaje de almendras sanas y como variables complementarias el color de las almendras en el espacio $\text{CIEL}^*a^*b^*$ y la demanda química de oxígeno del agua utilizada. No hubo diferencia en la calidad del café obtenido con el tratamiento y el testigo, para las variables física y sensorial y en la coloración de las almendras. En las primeras 24 h de almacenamiento de las muestras se observó la reducción del 55% en la demanda química de oxígeno (DQO) utilizando agua ozonizada.

Palabras clave: Calidad sensorial, Calidad física, Demanda química de oxígeno.

OZONATED WATER APPLICATION AS A CONSERVATION METHOD OF WET PARCHMENT COFFEE DURING ITS COMMERCIALIZATION

The effect of ozonated water application on the physical and sensorial quality of wet parchment coffee commercialized for 4 days at a plant located in the municipality of Chinchiná (Caldas) was evaluated. A 5 kg sample of the commercialized coffee was taken daily and washed with ozonated water at a concentration of $0.2 \text{ mg.L}^{-1} \text{ O}_3$ for 15 min., using a volume of water according to the porosity of the coffee (treatment). Simultaneously, 20 kg of the commercialized coffee were stored for 96 h under water, with water changes every 24 h (control). The wet coffee obtained from the treatment and the control were dried until a moisture content of 10% to 12% (wet basis) was obtained, using air with a temperature of $50 \pm 2^\circ \text{C}$. The response variables were the total score in the SCAA scale and the percentage of healthy green coffee beans; the complementary variables were the color of the beans in the $\text{CIEL}^*a^*b^*$ space and the chemical oxygen demand of the water used. There was no difference between the quality of the coffee obtained with the treatment and that obtained with the control regarding the physical and sensorial variables and the color of the beans. In the first 24 h of sample storage, a 55% reduction in chemical oxygen demand (COD) using ozonated water was observed.

Keywords: Sensorial quality, Physical quality, Chemical Oxygen Demand.

* Practicante de Investigación, Investigador Principal e Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Poscosecha. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El café pergamino húmedo es el producto resultante del proceso de lavado en el beneficio húmedo del café. Por su elevado contenido de humedad (53% b.h.) y actividad de agua (0,97-0,98) presenta alto riesgo de contaminación por microorganismos, que pueden alterar su calidad e inocuidad (13).

La comercialización del café húmedo es una actividad ejercida en la industria del café de Colombia por más de 30 años, debido a los altos costos del secado, la necesidad de liquidez, la falta de infraestructura e inseguridad en las fincas¹. En algunas regiones del país el 30% del café es comercializado bajo esta modalidad. Sin embargo, la falta de control durante el beneficio, transporte y comercialización representa un riesgo para la calidad física, organoléptica e inocuidad del producto (14).

Solo en el 2014, las compras de café pergamino húmedo realizadas por la Cooperativa de Caficultores de Manizales, ubicada en Chinchiná, fueron equivalentes a 2.955 toneladas de café pergamino seco. En este lugar, el café es almacenado en tanques bajo agua, que también se emplea para transportar el café a los secadores, con recirculación, alcanzado una carga contaminante en DQO de hasta 4.640 ppm, que debe ser tratada antes de descargarse a las fuentes de agua para disminuir el impacto en los ecosistemas. El proceso de secado inicia cuando se obtiene la masa de café húmedo requerida para la operación del secador (5.000 kg), lo que puede tardar hasta 4 días en épocas de bajo flujo de café.

Los largos períodos de almacenamiento del café en estado húmedo y la actividad metabólica de los granos contribuyen a la proliferación de microorganismos como mohos y levaduras, que pueden causar daños en la calidad del café (2, 3, 7, 12, 13). Adicionalmente, cuando el retraso en el inicio del proceso de secado es de 96 h se presentan pérdidas de materia seca que pueden variar entre 3,34% y 3,65%, dependiendo si el café es almacenado con o sin agua². Igualmente, cuando se hacen mezclas en un mismo tanque de café de varios días de despulpado, aunque se deje con agua, pueden originarse cafés de inferior calidad³(15). Con el fin de proteger la calidad del café cuando se comercializa en húmedo, en Cenicafé se han evaluado las siguientes alternativas para su manejo, sin observar cambios con relación a muestras con inicio inmediato del proceso de secado:

- Secado a niveles entre 45% y 35% (b.h.) y almacenamiento de hasta 96 h, con temperatura y humedad relativa de 23°C y 75% en promedio, respectivamente (8).
- Almacenamiento a temperaturas de 3 y 7°C hasta 144 h².
- Aplicación al café húmedo de agua ozonizada con concentración de 0,2 mgO₃.L⁻¹ y almacenamiento con temperatura de 20±2°C de hasta 96 h (9).

El uso del ozono (O₃) en la industria alimentaria ha sido evaluado sobre diferentes productos, su capacidad oxidante reduce eficientemente las poblaciones bacterianas

¹ OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ G., C.A. En: Encuentro nacional de comercialización de café húmedo. 21 de Agosto de 2009: Chinchiná. Cenicafé, 2009. 31p.

² PUERTA Q., G.I. 2004. Efecto de los retrasos en las etapas del beneficio en la calidad y la inocuidad del café. Informe anual de actividades de investigación 2003-2004. Disciplina Química Industrial. Cenicafé. Chinchiná- Colombia.

³ PUERTA Q., G.I. 2004. Efecto de los retrasos en las etapas del beneficio en la calidad y la inocuidad del café. Informe anual de actividades de investigación 2003-2004. Disciplina Química Industrial. Cenicafé. Chinchiná- Colombia.

y las esporas de hongos. El ozono es generalmente reconocido como seguro, debido a la descomposición rápida en oxígeno (O_2) sin dejar residuo. La aplicación de agua ozonizada en frutas y verduras reduce la carga microbiana y prolonga el tiempo en la vida útil de algunos de estos productos (1, 4, 16).

La aplicación del ozono para la disminución de carga microbiana en muestras de café despulpado ha sido evaluada en Brasil, observando reducción significativa en el conteo de coliformes, en comparación con el tratamiento testigo de fermentación natural, además no se encontró alteración en la calidad sensorial de los granos (6).

El efecto de la aplicación de agua ozonizada en café lavado, en la carga microbiana y calidad, fue evaluado utilizando concentración de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de O_3 y tiempo de residencia de 15 min. (9). Se observó una carga de aerobios mesófilos, coliformes totales y mohos y levaduras en UFC/g similar a la registrada en café secado inmediatamente después del lavado. La calidad sensorial del café, puntaje total en la escala de SCAA y porcentaje de tazas limpias, se conservó después de 96 h de almacenamiento, en cuarto con temperatura de $20 \pm 2,0^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $80 \pm 3,0\%$, con aplicación diaria de agua ozonizada.

Otras ventajas en el empleo de O_3 han sido documentadas para la desinfección de superficies y equipos en las plantas de procesamiento de alimentos y la reducción de la carga contaminante de las aguas residuales en procesos industriales o domésticas (10, 17).

En esta investigación se evaluó el efecto en la calidad física y sensorial de la aplicación de agua ozonizada con concentración de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de O_3 en café húmedo comercializado en la Central de la Cooperativa de Caficultores de Manizales

en Chinchiná (Caldas). Adicionalmente, se realizó un análisis colorimétrico en almendras de café del tratamiento y el testigo con el fin de determinar posibles variaciones en su color, en el espacio CIEL *a*b* (Commission Internationale de L'éclairage o Comisión Internacional de Iluminación, por sus siglas en Francés), por las diferentes condiciones de almacenamiento. Finalmente, se evaluó el efecto de esta práctica en la demanda química de oxígeno del agua utilizada para almacenamiento y el transporte del café a los secadores, con el propósito de integrar las propiedades ambientales del ozono en el beneficio ecológico del café.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento experimental se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café –Cenicafé, en Manizales (Caldas, Colombia), a una altitud de 1.310 m, temperatura media de $21,5^\circ\text{C}$ y humedad relativa media de 79,5%. Las muestras de café se tomaron entre los meses de mayo y julio del 2015, en la central de compra de la Cooperativa de Caficultores de Manizales en Chinchiná (Caldas).

Cada 24 h y durante 4 días, se tomaron 25 kg del café húmedo comercializado en la Central de la Cooperativa de Caficultores de Manizales, de los cuales 20 kg se depositaron en un recipiente con capacidad de 250 L y se cubrieron con agua limpia reemplazada diariamente. Los 5 kg restantes del café húmedo se transportaron al Laboratorio de Poscosecha de Cenicafé para la aplicación de agua ozonizada con concentración de ozono de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de O_3 (Figura 1a) durante 15 min., siguiendo el procedimiento empleado por Pabón (9). Al transcurrir las 96 h se obtuvieron 20 kg de café lavado diariamente con agua ozonizada y 80 kg del café almacenado bajo agua, del cual se

extrajo una muestra de 20 kg como testigo (Figura 1b). El procedimiento anterior se repitió durante 10 semanas.

Para la aplicación de agua ozonizada al café se construyó el dispositivo presentado en la Figura 1a, el cual consta de un tanque fabricado en acero inoxidable calibre 18, de 45 cm de altura y 42 cm de diámetro, una bomba sumergible de caudal de 100 L.h⁻¹ y tres aspersores con boquilla tipo abanico, ubicados en el borde superior a 120° de distancia. La ozonización del agua se realizó utilizando un generador comercial marca Bionic® con capacidad para producir 1,0 g.h⁻¹ de O₃. Para verificar que se conservara la concentración de ozono, se utilizó un kit comercial OZ-2 marca Hach®, el cual mide el residual oxidante de DPD (N,N-dietil-p-fenilendiamina) y genera un cambio de color que indica la presencia del ozono en el agua.

El volumen de agua requerido en cada tratamiento se calculó teniendo en cuenta la porosidad del café lavado, 36,5% para Variedad Castillo®⁴. Las muestras correspondientes al testigo y al tratamiento se secaron en un equipo de capa estática, con temperatura del aire de 50±2°C, hasta contenido de humedad entre el 10% y el 12% (b.h). El café pergamino seco se empacó en bolsas de cierre hermético y se llevó a almacenamiento con temperatura de 20±2°C y humedad relativa de 75%±2% hasta su envío al panel de Catación del Comité de Cafeteros de Caldas, en el Recinto del Pensamiento (Manizales), para los análisis de calidad física y sensorial.

Como variable de respuesta se consideró la calidad sensorial expresada en la calificación total, resultante de la sumatoria de los parámetros fragancia, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo,



Figura 1. a. Dispositivo utilizado para la aplicación de agua ozonizada al café; b. Recolección de muestra (testigo) después de 96 h de almacenamiento bajo agua

⁴ PEÑUELA A., OLIVEROS C. 2013. Caracterización de la calidad física, sensorial y microbiológica del café pergamino húmedo. Fase 1. p 2 – 9. En: Cenicafé. Primer Informe Científico del Proyecto Estudio de técnicas para la conservación del café pergamino húmedo durante la comercialización. Chinchiná: Cenicafé. p38.

balance, uniformidad, taza limpia, dulzor y puntaje del catador. La calificación de estos parámetros se basó en la prueba QDA (Análisis Cuantitativo Descriptivo) el cual utiliza una escala de cero a diez. Se consideró como segunda variable de respuesta la calidad física, expresada en el porcentaje de almendras sanas del tratamiento y el testigo. Además, se realizó un análisis colorimétrico de las almendras de café en el espacio CIEL*a*b, para determinar posibles diferencias en su color entre el tratamiento y el testigo.

El dispositivo utilizado para determinar cuantitativamente el color de las almendras fue un colorímetro Konica Minolta CR-400, el cual utiliza una lámpara de xenón pulsado como fuente de luz, graduado con el iluminante estándar D65 y un ángulo de observador de 2°, previamente calibrado sobre una superficie plana (Referencia blanco, $Y=87,1$, $x=0,3184$, $y=0,3357$) (Figura 2a). Las mediciones del color se realizaron en diez muestras, de 25 g cada una (Figura 2b), del tratamiento y el testigo, bajo la misma condición de luminosidad.

Se determinó la demanda química de oxígeno (DQO) mediante la aplicación de ozono a 18 L del agua empleada para el almacenamiento del café, al transcurrir 24 h. Este procedimiento se realizó durante 30 min., alcanzado una concentración de ozono disuelto de 0,2 mg.L⁻¹ de O₃. Además, se estimó la carga contaminante en DQO y los sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas utilizadas para el transporte de café a los secadores.

La determinación de la DQO se realizó por el método de reflujo cerrado, método colorimétrico desarrollado por la empresa HACH y aprobado por la U.S.EPA (HACH, 1988), utilizando un espectrofotómetro HACH referencia DR-6000 y una longitud de onda de 420 nm. Para la calibración del método se utilizó un estándar o patrón con un valor de DQO conocido (ftalato ácido de potasio).

Para el análisis estadístico se estimaron el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación en los datos de calidad física, sensorial y colorimétricos; además, se aplicó la prueba de diferencia



Figura 2. a. Calibración del colorímetro Konica Minolta CR-400; **b.** Muestra de almendras para análisis de color.

mínima significativa al 5% y se estimó el porcentaje de reducción de la DQO.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad sensorial. Los resultados del análisis sensorial para las muestras de café correspondientes al tratamiento y al testigo se presentan en la Tabla 1. El 70% de las muestras de café del tratamiento y el testigo presentaron calificación superior o igual a 80, que corresponde en la escala de SCAA (Specialty Coffee Association of America) a café con calidad especial. La muestra del testigo número 1 y la muestra del tratamiento número 8 recibieron una calificación de 0 puntos en taza limpia, debido a la presencia del defecto vinagre, con una calificación total de 53 puntos en la escala de SCAA.

De acuerdo con la prueba de diferencia significativa mínima (LSD) no hubo diferencia en la calidad sensorial del café tratado con agua ozonizada, a una concentración de 0,2 mg.L⁻¹ de O₃, y el testigo con cambio diario de agua. El resultado obtenido con el testigo puede

atribuirse a la buena calidad del café recibido en la Central en los días de realización de los ensayos, generalmente de fincas cercanas. Sin embargo, estos resultados pueden ser diferentes cuando se realiza el beneficio sin la aplicación de las buenas prácticas para el beneficio húmedo y secado recomendadas por Puerta (12).

Calidad física. Los promedios y la desviación estándar obtenidos para las muestras sometidas al tratamiento y el testigo fueron similares. El 80% de las muestras evaluadas, tanto en el tratamiento como en el testigo, presentaron porcentajes de almendras sanas superiores o iguales al 75%, que corresponden a café bonificado por su calidad física en el proceso de comercialización en Colombia. En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos para la variable de respuesta porcentaje de almendras sanas, para el tratamiento y el testigo.

De acuerdo con la prueba de diferencia significativa mínima (LSD) no se observó diferencia en el porcentaje de almendras sanas en las muestras de café obtenidas con el tratamiento y el testigo.

Tabla 1. Puntaje total de las muestras (puntuación máxima: 100 puntos).

Número de muestra	Tratamiento	Testigo
1	80,0	53,0
2	80,0	81,0
3	80,0	76,0
4	80,0	79,0
5	81,5	80,5
6	78,0	80,5
7	81,5	80,3
8	53,0	81,0
9	80,5	80,0
10	77,0	81,5
Promedio	77,2	77,3
D.E.	8,6	8,7

D.E.: Desviación estándar.

Tabla 2. Porcentaje de almendra sana.

Muestra	Tratamiento	Testigo
1	73,5	71,5
2	75,0	77,2
3	79,4	76,2
4	75,2	73,2
5	78,5	75,3
6	74,8	75,9
7	76,9	77,5
8	77,4	79,6
9	76,0	78,9
10	79,6	80,0
Promedio	76,63	76,53
D.E.	2,08	2,73

D.E.: Desviación estándar.

Análisis colorimétrico. De acuerdo con la Tabla 3, no hubo diferencias en luminosidad (L) y en valores de coloración entre rojo-verde

(a*) y amarillo-azul (b*), los cuales fueron más uniformes entre almendras de café con aplicación de agua ozonizada y el testigo.

Tabla 3. Coordenadas de color CIE L*a*b* obtenidas para las muestras de café.

	Agua ozonizada			Testigo		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Media	32,25	0,86	11,43	33,73	1,10	11,62
LI	30,67	0,48	10,67	31,77	0,94	11,27
LS	33,83	1,23	12,18	35,68	1,26	11,98
D.E.	2,21	0,52	1,05	2,73	0,22	0,50

LI: Límite inferior; LS: Límite superior; D.E.: Desviación estándar.

Impacto en la DQO. Los resultados muestran en promedio una reducción del 55,10% de la DQO en las primeras 24 h (Tabla 4), atribuible a la reacción del ozono con el carbono de la materia orgánica contenida en el agua utilizada para producir CO₂ (5). Además, se evidenció el cambio de color de amarillo a tonalidad rojiza (Figura 3). Las aguas utilizadas en el proceso de transporte del café húmedo a los secadores, presentaron valores de DQO y SST correspondientes a 5.483 ppm y 2.416 ppm, respectivamente, con un consumo específico de 0,2 L.kg⁻¹ cps.

Puede concluirse que la aplicación diaria de agua ozonizada, con concentración de 0,2 mg.L⁻¹ de O₃ por un tiempo de 15 min. permite conservar la calidad sensorial del café pergamino húmedo almacenado hasta por 4 días; con esta práctica se obtuvo un porcentaje de almendras sanas y puntaje total en la escala de SCAA igual que en el café bajo agua, con cambio diario de ésta, como se realiza en sitios de compra de café húmedo. No se observó diferencia en el color de las almendras de café en el espacio CIEL*a*b* después de 96 h de almacenamiento bajo agua y con aplicación de agua ozonizada. En las primeras 24 h se presenta reducción de la DQO (55,1%) en el agua ozonizada aplicada al café. La técnica

Tabla 4. Resultados de DQO (ppm) para el agua usada en el almacenamiento del café durante 24 h sin tratar (testigo) y ozonizada (0,2 mg.L⁻¹ de O₃).

Número de muestra	Testigo	Agua ozonizada	Disminución de DQO (%)
1	610	350	42,62
2	1.690	550	67,46
3	1.110	380	65,77
4	600	110	81,60
5	1.110	910	18,02
Promedio	1.024	460	55,11%
D.E.	449,87	296,48	25,01

D.E.: Desviación estándar.

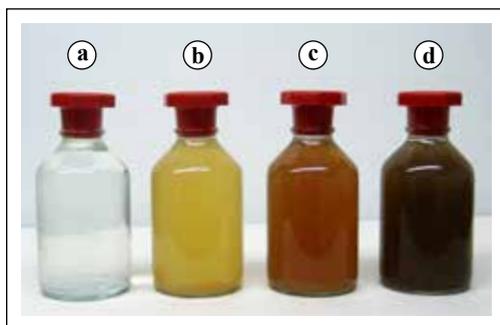


Figura 3. a. Agua limpia utilizada para almacenar café; b. Agua de almacenamiento de café durante 24 h; c. Agua de almacenamiento de café durante 24 h, ozonizada; d. Agua utilizada para el transporte de café a los secadores.

de ozonización podría utilizarse como una alternativa en las centrales de compra para la conservación del café húmedo por tiempos de espera no mayor a 4 días para el secado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y Colciencias. Los autores agradecen a la Cooperativa de Caficultores de Manizales con sede en Chinchiná por el apoyo ofrecido a la investigación y a la doctora Esther Cecilia Montoya por la asesoría en la planeación de la investigación y análisis de la información.

LITERATURA CITADA

1. BELTRÁN, D.; SELMA, M.V.; MARÍN, A.; GIL, M.I. Ozonated water extends the shelf life of fresh cut lettuce. *Journal of agricultural and food chemistry* 53:5654–5663. 2005.
2. BORÉM M., F.; RODRÍGUEZ R., C.H.; TAVARES A. E. Secagem do café. p. 214-215. En: Pós-colelita do café. Lavras : Universidade Federal de Lavras, 2008. 631 p.
3. FAVARIN, L.J.; GNACCARINI, A.L.; DUARTE, H.M.; CARMIGNANI, H.M.; COSTA, J.D.; DORADO, D.N. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos poscolheita. *Pesquisa agropecuaria brasileira* 32(2):187-192. 2002.
4. KIM, J.G.; YOUSEF, A.E.; CHISM, G.W. Applications of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: A review. *Journal of food protection* 62(9):1071-1087. 1999.
5. MUÑOZ, J.F.; ORTA, M.T. Efecto del ozono en la remoción de materia orgánica disuelta de un efluente secundario. *Escuela de ingeniería de Antioquia* 18:171-178. 2012.
6. NASCIMENTO, L.C.; LIMA, L.C.; PICOLLI, R.; FIORINI, J.; DUARTE, S.; SILVA, J.M., OLIVEIRA, N.; VEIGA, S. Ozonio e ultra-som: Processos alternativos para o tratamento do café despulpado. *Ciência e tecnologia de alimentos* 28(2):282-294. 2008.
7. NOGUEIRA, B.L.; CORRÊA, P.C.; CAMPO, S.C.; OLIVEIRA, G.H.; BAPTESTINI, F.M. Influência do teor de água e do estágio de maturação na taxa respiratória do café. Araxá : Simpósio de pesquisa dos cafés do brasil, 2011.
8. OLIVEROS T., C.E.; PABÓN U., J.P.; PEÑUELA M., A.E. Intermediate drying of coffee beans to protect and reduce dry matter losses in the wet coffee marketing. Montreal : ASABE, 2014.
9. PABÓN U., J.P. Efecto de la aplicación de agua ozonizada en la conservación de café pergamino húmedo durante el proceso de comercialización. Manizales : Universidad de Caldas, 2015. Tesis: Maestría en ingeniería de alimentos.
10. PASCUAL, A.; LIORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends in food science & technology* 18(1):S29-S35. 2007.
11. PEÑUELA M., A.E.; PABÓN U., J.P.; SANZ U., J.R. Método para identificar el momento final de la fermentación de mucílago de café. *Cenicafé* 63(1):120-131. 2012.
12. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. Chinchiná : Cenicafé, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349).
13. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la humedad del café. Chinchiná : Cenicafé, 2006. 3 p. (Avances Técnicos No. 352).
14. PUERTA Q., G.I. Riesgos para la calidad por la comercialización de café pergamino húmedo. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 4 p. (Avances Técnicos No. 373).
15. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: Fermento, reposado, fenólico y mohoso. Chinchiná : Cenicafé, 2015. 12 p. (Avances Técnicos No. 461).
16. RICE, R.G.; GRAHAM, C. Ozone as antimicrobial agent for the treatment, storage and processing of food in the gas and aqueous phases supporting of data for a food additive petition. *World ozone congress* 15:29-32. 2001.
17. TERRY, P. Application of ozone and oxygen to reduce chemical oxygen demand and hydrogen sulfide from a recovered paper processing plant. *International journal of chemical engineering* 2010:1-6. 2010.

DESCRIPCIÓN DE LA ESCAMA DE LA RAÍZ DEL CAFÉ *Toumeyella coffeae* Kondo (HEMIPTERA: COCCIDAE)

Zulma Nancy Gil Palacio*; Pablo Benavides Machado*

GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P. Descripción de la escama de la raíz del café *Toumeyella coffeae* Kondo (Hemiptera: Coccidae). Revista Cenicafé 68 (1): 15-21. 2017

Recientemente, se describió en Colombia un insecto plaga potencial del cultivo del café, *Toumeyella coffeae* Kondo (Hemiptera: Coccidae), nueva especie para la ciencia. Esta escama se localiza en la base del tallo y en la raíz principal del árbol, succiona savia y causa clorosis, defoliación y, en algunas ocasiones, la muerte de la planta. Dada la importancia de este hallazgo y la necesidad de que se reconozca en la caficultura colombiana, se realizó la descripción de los caracteres morfológicos externos del insecto, los hábitos y daños que ocasiona y las recomendaciones de manejo integrado.

Palabras clave: *Coffea*, escama blanda, plaga del café.

DESCRIPTION OF THE COFFEE ROOT SOFT SCALE OF *Toumeyella coffeae* Kondo (HEMIPTERA: COCCIDAE)

A potential insect pest to coffee crops was recently described, *Toumeyella coffeae* Kondo (Hemiptera: Coccidae), a new species for science. This soft scale is primarily located in the trunk bottom and main root of coffee trees, sucks sap and causes chlorosis, defoliation and sometimes plant death. Due to the importance of this finding and the need for the recognition of this insect in Colombian coffee crops, we describe its morphological characters, habits and damages related to this insect, as well as integrated pest management recommendations.

Keywords: *Coffea*. Coccidae. Soft scale. Coffee pest.

* Investigador Científico II, Investigador Científico III, respectivamente, Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

En Colombia, en los últimos años se han incrementado las poblaciones de las cochinillas de las raíces del café en algunas regiones del país. Frente a esta problemática, Villegas *et al.* (6, 8) han realizado diagnósticos en los departamentos de Caldas, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander y Tolima, con el propósito de identificar las especies más predominantes de cochinillas en las raíces del café y cuantificar su incidencia. Para cumplir con este propósito, se realizaron evaluaciones en más de 200 fincas cafeteras donde se analizaron muestras de insectos a partir de aproximadamente 6.000 árboles, de los departamentos mencionados. Durante este procedimiento, con el Servicio de Extensión en el departamento de Norte de Santander, se observó que además de las muestras de cochinillas adheridas a la raíz de la planta del café, había otra especie de insecto perteneciente al género *Toumeyella* (8). El análisis de los adultos y las ninfas corroboraron que se trataba de una escama; las muestras fueron remitidas al especialista en cóccidos Demian Takumasa Kondo (Entomólogo de Corpoica), quien las determinó como *Toumeyella coffeae* Kondo (Hemiptera: Coccidae) nueva especie. El material estudiado está depositado en el Museo Entomológico de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, y en el Museo de Entomología de la Universidad del Valle en Cali (Valle del Cauca) (4). Esta especie podría ser la misma reportada con anterioridad en Venezuela, indicada como *Toumeyella* sp. (4).

Dentro del género *Toumeyella* Cockerell, se registran 24 especies para todo el mundo, sin incluir a *T. coffeae*. Estas especies están distribuidas en Brasil (2 spp.), Cuba (1 sp.), México (4 spp.), Estados Unidos (10 spp.), Zimbabwe (1sp.), Malawi (1sp.), Sudáfrica (1 sp.) y Canadá (3 spp.), y una especie, de la cual no se conoce su distribución (5).

Con este hallazgo reciente en Colombia, *T. coffeae* Kondo 2013, se obtiene el primer registro para el país. Estos insectos están hospedados en diferentes especies de plantas silvestres y cultivadas, y en algunas causan daño de importancia económica, como en el caso del café. En esta publicación se describen algunos caracteres morfológicos externos de *T. coffeae*, las localidades donde se ha registrado, los hábitos y los daños que ocasiona en café. Así mismo, se emiten recomendaciones de manejo integrado para proceder con el control en regiones afectadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron individuos de la especie *Toumeyella coffeae* en los municipios de Cucutilla, Arboledas y Labateca en el departamento de Norte de Santander, con el fin de describir los caracteres morfológicos de las hembras adultas. Se visitaron fincas con cafetales infestados por este insecto, que fueron reportados en estudios previos y se relacionaron los daños ocasionados a los árboles con la presencia de la escama en los tallos y las raíces principales. Se realizó un diagnóstico de la situación de esta plaga en el departamento de Norte de Santander, para lo cual se seleccionaron 100 fincas de manera aleatoria a partir de los códigos del Sistema de Información Cafetera (SICA), donde el marco de muestreo estuvo conformado por fincas con lotes de café, menores a dos años. Los funcionarios del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros realizaron el muestreo de incidencia y recolectaron muestras de al menos diez árboles atacados, en los lotes infestados. Se confirmó la especie usando los caracteres descriptivos de Kondo (4).

Con el fin de establecer preliminarmente las estrategias de control químico dentro de un programa de manejo integrado, se

evaluaron los ingredientes activos clorpirifos al 75% en una dosis de 0,3 g/planta, lambdacialotrina + tiametoxam en una dosis de 0,030 cm³/planta y tiametoxam + ciproconazol en una dosis de 0,030 g/planta, aplicados en un lote de café de 24 meses, de Variedad Castillo®, con 2.000 árboles infestados por *T. coffeae*. Para la aplicación de los productos, el lote se dividió en cuatro parcelas con igual número de árboles (500), donde se aplicaron los insecticidas en drench, con un volumen por árbol de 200 cm³/planta; como testigo se dejó una parcela sin aplicación. Transcurridos 30 días, en cada parcela, se seleccionaron aleatoriamente 90 árboles y se evaluó la presencia de la escama en las raíces, mediante observación directa en el campo, sin desenterrar completamente las plantas. Con esta evaluación se determinó la proporción de árboles sin presencia de la plaga. Adicionalmente, se registró el porcentaje de árboles que presentaban malformaciones de raíces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron individuos de *Toumeyella coffeae* Kondo (Hemiptera: Coccidae) en el

municipio de Cucutilla en la finca Naranjal, en el municipio de Arboledas en las fincas Vega Bonita, El Alumbre y El Cedro, y en el municipio de Labateca en la finca La Esperanza.

Descriptivamente, las hembras carecen de alas, son pequeñas, miden aproximadamente de 2 a 4 mm de longitud, son de color café y de cuerpo convexo o globular (Figuras 1a y 1b); en estados inmaduros presentan rayas café oscuras sobre el dorso (Figura 2) y en estado adulto algunas veces son fuertemente esclerosadas; carecen de ojos, y las antenas y las patas son reducidas. Los machos adultos son escasos y poseen un aparato bucal rudimentario, razón por lo cual mueren por inanición a los pocos días (4).

La presencia de la escama *T. coffeae* se observó en lotes de café de todas las edades. El daño lo ocasionaron tanto las ninfas como las hembras adultas con la succión de la savia; como consecuencia se observó clorosis, caída de hojas, marchitez y, en algunos casos, muerte de la planta (Figura 3a y 3b). Se extrajeron las raíces de algunos árboles y se encontró, en éstas y en el cuello de la raíz, la presencia de individuos de la escama (Figuras 4a y



Figura 1. Hembra en estado adulto de la escama *Toumeyella coffeae*. a. Vista dorsal; b. Vista ventral.



Figura 2. Ninfas de *Toumeyella coffeae*.

4b). En los lotes en donde estaban los árboles muertos ya se había realizado la resiembra de algunos de ellos, y se procedió a extraer los árboles y revisar el sistema de raíces, registrando la presencia de la escama, principalmente en el cuello de la raíz. Además de la escama, se encontró el hongo *Ceratocystis fimbriata*

en algunos árboles muertos; la presencia de este patógeno asociado a insectos de la superfamilia Coccoidea, había sido reportado por Benavides *et al.* (1) y Villegas *et al.* (7) en investigaciones sobre cochinillas en cafetales de Colombia. Frecuentemente se observaron, en la raíz del árbol de café y en proporciones similares, poblaciones de la escama *Toumeyella coffeae* y de las cochinillas *Puto barberi* o *Dysmicoccus* spp.

El diagnóstico de la presencia de *T. coffeae* en lotes de café en fincas de Norte de Santander, se realizó en 86 fincas de las 100 seleccionadas. En el 15,11% de ellas se registró esta plaga, con una incidencia del 50,83% de los árboles afectados. El municipio que registró mayor presencia de *T. coffeae* fue Cucutilla (cinco fincas), siguiendo en su orden por los municipios de Arboledas y Labateca (dos fincas), Convención, El Carmen, Ragonvalia y Salazar (una finca) (Tabla 1). Es importante mencionar que, en el municipio de Arboledas, vereda El Caney,



Figura 3. Síntomas de daño por ataque de la escama *T. coffeae*. a. Árbol defoliado, b. Árbol muerto.



Figura 4. Síntomas del daño causados por *T. coffeae*. **a** y **b**. Presencia de la escama en la raíz principal del árbol de café.

finca el Tejar, fue donde se registró el mayor porcentaje de incidencia, con el 83% de los árboles evaluados. De manera preliminar, este insecto se reportó en los departamentos de Antioquia, Cauca, Caldas, Quindío y Valle del Cauca (datos no suministrados).

Para el control de la escama *T. coffeae*, los ensayos preliminares indicaron que los ingredientes activos clorpirifos al 75%, lambdacialotrina + tiametoxam, y tiametoxam + ciproconazol fueron eficaces en el control químico de la escama, reduciendo el porcentaje de infestación con respecto al testigo en 96,6%, 94,4%, y 91,1%, respectivamente (Tabla 2).

Experimentalmente, el ingrediente activo lambdacialotrina + tiametoxam fue eficaz para el control de la escama en plantaciones establecidas; sin embargo, por ser una solución concentrada (SC), se recomienda su uso exclusivamente en plántulas de almácigo.

En los árboles evaluados se registró un alto porcentaje con problemas de mal formación de raíces (Tabla 2), condición a tener en cuenta en el control de la plaga, porque así el control sea eficaz, la planta no cuenta con un sistema de raíces que permita su recuperación. La presencia de la escama presentó una distribución aleatoria en el lote, por lo tanto, las prácticas de manejo deben estar encaminadas a realizar aplicaciones generalizadas, con el suelo a capacidad de campo.

Se recomienda seguir las prácticas de manejo integrado de cochinillas de las raíces del café, de acuerdo con el Avance Técnico 459 de Cenicafé (3), de manera similar a como se controla la especie *Puto barberi*. Es decir, evaluar las plántulas de almácigos a los 1,5 meses de edad para registrar la presencia de la plaga y, en caso de encontrarla, realizar una aspersión de clorpirifos al 75% en una concentración de 3 g.L⁻¹, en un

Tabla 1. Localidades del departamento de Norte de Santander con presencia de *Toumeyella coffeae*, municipio, vereda y finca (2).

Municipio	Vereda	Finca
Arboledas	Chicagua Alto	La Peña
Arboledas	El Caney	El tejar
Convención	Casa Blanca	Villanueva
Cucutilla	Zulusquilla	El Uvito
Cucutilla	Cucutilla	Alto de Hoyada Grande
Cucutilla	Alto de la Mesa	La Meseta
Cucutilla	Cucutillita	El Alto de los Meneses
Cucutilla	Vereda Pedregal Alto	Alto viento
El Carmen	La Osa	Berlín
Labateca	Paramito	Miraflora
Labateca	Monoga	Villanueva
Ragonvalia	La Alhambra	Naranja
Salazar	San José del Ávila	La Esperanza

Tabla 2. Proporción de árboles sin la presencia de la escama de raíz del café, después de 30 días de la aplicación de los ingredientes activos clorpirifos al 75%, lambdacialotrina + tiametoxam y tiametoxam + ciproconazol. Número de árboles evaluados por parcela: 90.

Ingrediente activo	Árboles con presencia de escamas	Porcentaje de árboles sin presencia de escamas (%)	Porcentaje de árboles con malformación de raíces (%)
Clorpirifos al 75%	3	96,6%	33,5%
Lambdacialotrina + Tiametoxam	5	94,4%	37,0%
Tiametoxam + Ciproconazol	8	91,1%	13,0%
Testigo	90	0	22,0%

volumen de aplicación de 50 cm³ por bolsa, con el suelo lo suficientemente húmedo, o aplicar lambdacialotrina + tiametoxam en una concentración de 0,5 cm³.L⁻¹, usando el mismo sistema de aspersión descrito anteriormente.

En el establecimiento de plantaciones de café en el campo deben sembrarse plantas indicadoras, con el fin de desenterrar mensualmente 30 plantas, para decidir el momento oportuno para realizar las aplicaciones

de insecticidas como clorpirifos al 75%, en una dosis de 0,3 g/planta, con un volumen de descarga de 100 cm³ de mezcla por planta y con el suelo lo suficientemente húmedo, o el producto tiametoxam + ciproconazol en una dosis de 0,03 g/planta, con un volumen de descarga de 100 cm³ de mezcla por planta y con el suelo lo suficientemente húmedo. Deben realizarse muestreos no destructivos, que permitan observar directamente las raíces de los árboles, en 30 cafetos seleccionados sistemáticamente. Ante la presencia de la

plaga en al menos uno de los árboles, debe realizarse una aspersión a todos los árboles de los insecticidas recomendados. Deben usarse volúmenes por planta, que cubran totalmente las raíces y asegurarse de realizar las aspersiones en suelos húmedos. Evitar la dispersión de la plaga a otras fincas o municipios teniendo en cuenta: 1. No trasladar material infestado por la plaga de un sitio a otro, a partir de raíces infestadas, individuos en recipientes o suelo; 2. No movilizar herramientas de trabajo de una finca afectada hacia una finca sana; 3. En el momento de realizar almácigos, no usar suelo de fincas con presencia de la escama; y 4. Revisar los almácigos antes de trasplantarlos al lote.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los agradecimientos al Servicio de Extensión de los Comités de Cafeteros de los departamentos del Valle del Cauca, Antioquia y Norte de Santander, igualmente a Alejandro Caballero de la Universidad Nacional Sede Bogotá y Andrea Amalia Ramos P. del Instituto Colombiano Agropecuario-ICA, por la confirmación de la especie. A Clemencia Villegas por sus aportes iniciales en la recolección de las muestras en las fincas del departamento de Norte de Santander.

LITERATURA CITADA

1. BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; CONSTANTINO C., L.M.; VILLEGAS G., C.; GIRALDO J., M. Plagas del café broca, minador, cochinillas

harinosas, araña roja y monalonia. p 215-261. En: Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: FNC: Cenicafé, 2013. 3 vols.

2. CABALLERO R., L.A. Insectos escama (Hemiptera: Coccoidea) en la rizósfera de cafetales de Norte de Santander y Valle del Cauca. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 2015. 40 p. Tesis Ingeniero Agrónomo.
3. GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P.; VILLEGAS G., C. Manejo integrado de las cochinillas de las raíces del café. Manizales : Cenicafé, 2015. 8 p. (Avances Técnicos No. 459).
4. KONDO, T. A new species of *Toumeyella* Cockerell (Hemiptera: Coccoidea: Coccidae) on coffee roots, *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), from Colombia and Venezuela. *Corpoica* 14(1):39-51. 2013.
5. ROSKOV Y.; ABUCAY L.; ORRELL T.; NICOLSON D.; FLANN C.; BAILLY N.; KIRK P.; BOURGOIN T.; DEWALT R.E.; DECOCK W.; DE WEVER A. eds. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 26th August 2016. Digital resource at www.catalogueoflife.org/col. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. (2016).
6. VILLEGAS G., C.; ZABALA, G.A.; RAMOS P., A.A.; BENAVIDES M., P. Identificación y hábitos de cochinillas harinosas asociadas a raíces del café en Quindío. *Cenicafé* 60(4):354-365. 2009.
7. VILLEGAS G., C.; BENAVIDES M., P.; ZABALA E., G.A.; RAMOS P., A. A. Cochinillas harinosas asociadas a las raíces del café: descripción y Biología. *Manizales: Cenicafé*, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 366).
8. VILLEGAS G., C.; BENAVIDES M., P. Identificación de cochinillas harinosas en las raíces de café en departamentos cafeteros de Colombia. *Cenicafé* 62(1): 48-55. 2011.

DISPOSITIVO RECOLECTOR DE FRUTOS DE CAFÉ DEL SUELO PARA EL MANEJO INTEGRADO DE LA BROCA

Luis Miguel Constantino Chuaire*; Carlos Eugenio Oliveros Tascón**; Pablo Benavides Machado*;
César Alberto Serna Giraldo**; César Augusto Ramírez Gómez**;
Rubén Darío Medina Rivera****; Aníbal Arcila*

CONSTANTINO C., L.M.; OLIVEROS T., C.E.; BENAVIDES M., P.; SERNA G., C.A.; RAMÍREZ G., C.A.; MEDINA R., R.D.; ARCILA, A. Dispositivo recolector de frutos de café del suelo para el manejo integrado de la broca. Revista Cenicafé 68 (1): 22-37. 2017

Con el fin de contribuir al manejo integrado de la broca (MIB) *Hypothenemus hampei*, se evaluó un dispositivo de accionamiento manual para recoger frutos del suelo (canastilla), en 12 lotes de café, de 4 años, con densidades entre 4.000 y 10.000 árboles/ha. Cada lote se dividió en dos parcelas iguales: testigo y tratamiento. En el tratamiento se recolectaron con la canastilla los frutos caídos después del último pase de cosecha, en el testigo no se recolectaron los frutos del suelo. Por parcela, en la cosecha siguiente, se evaluó el porcentaje de infestación de broca y la calidad de la almendra. La eficacia de recolección de frutos del suelo con el equipo osciló entre 42,4% y 95,0%. El costo de la recolección de frutos del suelo fue de \$126.835 por hectárea. Con la canastilla pueden retirarse hasta 798.000 brocas de los frutos brocados del suelo. El repase de los frutos del suelo con la canastilla, al final de la cosecha, disminuyó entre 32,5% y 71,2% los niveles de infestación de broca en el árbol en la cosecha siguiente, con respecto al testigo. Eficacias en la recolección de los frutos del suelo superiores al 75% permiten obtener porcentajes de almendra sana >75% y sobrepagos de hasta \$130.473, en una carga de 125 kg de café pergamino seco. El repase con canastilla es útil después de las cosechas, para recoger frutos de café caídos al suelo, dentro de una estrategia MIP, para mantener las poblaciones del insecto por debajo del nivel de daño económico.

Palabras clave: Repase, control cultural, canastilla, *Hypothenemus hampei*, *Coffea arabica*.

GROUND COFFEE FRUIT PICKING DEVICE FOR INTEGRATED PEST MANAGEMENT OF COFFEE BERRY BORER

In order to contribute to the integrated pest management (IPM) of coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, a manual device (basket) was used to pick fallen cherries in twelve 4-year old coffee lots, with densities between 4,000 and 10,000 trees /ha. Each lot was divided into two equal plots: treatment and control. In the treatment plot, the fallen cherries were picked with the basket after the last harvest pass; in the control plot, the fallen cherries were not collected. In the next harvest, the percentage of CBB infestation and the quality of healthy green coffee beans were evaluated in each plot. The efficiency of picking fallen cherries with the equipment ranged from 42.4% to 95.0%. The cost of picking fallen cherries was \$ 126,835 per hectare. The device can remove up to 798,000 coffee berry borers from the infested fallen cherries. The last picking of dry cherries with the basket, at the end of the harvest, decreased the levels of tree borer infestation in the next harvest between 32.5% and 71.2%, compared to the control. Efficiencies in the picking of the cherries of the soil above 75% allow to obtain percentages of healthy green coffee beans > 75% and surcharges of up to \$ 130,473 in a load of 125 kg of dry parchment coffee. The use of the basket in the picking of dry cherries is useful after harvesting to collect fallen coffee cherries within an IPM strategy to keep the insect populations below the level of economic damage.

Keywords: Picking of dry cherries, cultural control, basket, *Hypothenemus hampei*, *Coffea arabica*.

* Investigador Científico II, Investigador Científico III y Asistente de Investigación. Disciplina de Entomología. Cenicafé.

** Investigador Principal e Investigador Científico I. Disciplina de Poscosecha. Cenicafé.

*** Investigador Científico I. Disciplina de Economía. Cenicafé.

**** Investigador Científico II. Disciplina de Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La broca del café (*Hypothenemus hampei*), es la plaga más importante de este cultivo; ocasiona pérdidas importantes en la cantidad y la calidad de la cosecha, por su hábito de alimentarse y reproducirse dentro del grano de café. La broca sobrevive después de la cosecha en los frutos que quedan en el árbol y en el suelo, continuando su reproducción durante al menos 150 días (7). En este sentido, Cenicafe implementó una estrategia de Manejo Integrado de la Broca (MIB), que involucra medidas de control cultural, biológico, legal y químico, para mantener las poblaciones por debajo del nivel de daño económico (5%) en el cultivo (6). Dentro del control cultural, las prácticas más importantes son la recolección oportuna de los frutos maduros y el repase, después de culminada una cosecha (Re-Re). Esta última práctica se refiere a la recolección de los frutos maduros, sobremaduros y secos del árbol, y de ser necesario, los frutos del suelo, la cual es una actividad fundamental, ya que logra cortar el ciclo reproductivo del insecto y disminuir sus poblaciones en el cultivo, reduciendo los niveles de infestación en la siguiente cosecha (2, 4, 5).

Los frutos brocados del suelo sirven de reservorio y fuente de reproducción y dispersión del insecto. Estudios realizados en Cenicafe han demostrado que un solo fruto brocado en el suelo permite que se infesten hasta 590 frutos en el árbol, en un período de 5 meses en cafetales con temperaturas de 21°C en promedio. Este impacto se duplica durante los eventos El Niño y se reduce hasta tres veces durante La Niña (9, 10). De ahí la importancia de recoger los frutos del suelo en aquellas zonas cafeteras de mayor vulnerabilidad a la broca, como son las zonas que presentan altas temperaturas (altitudes bajas), especialmente durante eventos climáticos El Niño.

En la cosecha de café en Colombia se presentan pérdidas por la caída de frutos al suelo, que oscilan entre el 2% y el 10% del total recolectado. Esta caída es ocasionada por los operarios, por la ejecución de las labores agronómicas del cultivo, por factores climáticos como aguaceros torrenciales, vientos, granizo, y por factores fisiológicos ligados a enfermedades y senescencia de las plantas (1, 8, 13, 14).

La recolección de los frutos de café caídos al suelo tradicionalmente se realiza en Colombia de forma manual, sin embargo esta práctica puede acarrear problemas de salud para los operarios por adquirir malas posturas ergonómicas, que producen dolores en las articulaciones y la espalda, al agacharse y apoyar las manos continuamente en el suelo, para escarbar la hojarasca con las manos sin protección, en busca de frutos en el plato de cada árbol; igualmente, por riesgos de accidentes de trabajo por picaduras de animales venenosos como la hormiga de fuego *Solenopsis gemitata*, la hormiga cachona *Odontomachus erythrocephalus*, alacranes *Centruroides* sp. y *Tityus* sp., la araña platanera *Phoneutria* sp. y la serpiente rabo de ají *Micrurus mipartitus*, entre otros. Una alternativa, cómoda, segura, más eficiente y que genera menos fatiga para el operario, es la recolección mecanizada asistida con equipos neumáticos como la aspiradora comercial (Cifarelli V77S) (15) y equipos de accionamiento manual como la canastilla (11) (Figura 1), utilizados en otros países para recoger nueces, avellanas, almendras, castañas, olivas, arándanos y todo tipo de frutos del suelo (16).

La aspiradora Cifarelli V77S es una máquina de espalda con motor de dos tiempos de 77 cm³ y 3,6 kW (5HP), consta de un ventilador centrífugo y un ducto de succión, equipado con una lanza para recoger



Figura 1. Recolección de frutos del suelo con canastilla. **a.** Manipulación del dispositivo en posición erguida y cómoda para el operario. **b.** Calidad de la recolección.

los frutos y un depósito en la espalda con capacidad de 15 L, donde por efectos de corrientes de aire ascendentes son separados y retornados al campo los materiales livianos (hojas, principalmente). El equipo vacío pesa 13,5 kg (15). La aspiradora Cifarelli V77S fue evaluada en cafetales de Colombia por Acosta *et al.* (1), en lotes de segunda cosecha, sembrados a 2,0 x 1,0 m y 1,5 x 1,0 m y pendiente de 0% al 100%. El porcentaje de recolección de frutos del suelo varió entre el 64,6% y el 88,6%. El tiempo empleado con los equipos evaluados fue de 8 a 20 s/sitio. La eficacia de recolección estuvo entre el 40% y el 73%. El trazado de los surcos, la destreza de los operarios y la presencia de biomasa de otros cultivos intercalados o asociados al café fueron los factores que más afectaron el desempeño y eficacia del equipo. El costo de las labores realizadas con la aspiradora (2 –3,5 jornales/ha) no superó el 20% de los costos de las labores agrícolas realizadas a mano (20 - 25 jornales/ha). Los niveles de infestación de broca en los lotes en los cuales se hizo la recolección de los frutos de café del suelo con el equipo, fueron menores

a los obtenidos con los testigos, con una disminución hasta del 75%, especialmente en fincas con altos niveles de infestación de broca y con elevado número de frutos caídos al suelo, principalmente brocados (12, 15).

Con el dispositivo de accionamiento manual (canastilla) los mejores resultados en cafetales se obtienen con platos limpios, recogiendo hasta un 83% de los frutos del suelo. El promedio del tiempo empleado por árbol con el dispositivo varía de 4,6 a 11,3 s, independientemente de la condición del plato y el número de frutos. El costo de recolección de frutos del suelo con la canastilla es de \$ 118.252 por hectárea, inferior al obtenido con el equipo Cifarelli V77S (\$ 248.662 por hectárea), o sea un 52,4% más económico (16).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se presentan los resultados de validación de la canastilla en la recolección de frutos de café caídos al suelo, enmarcado dentro de un esquema de manejo integrado de la broca del café, en fincas de caficultores y Estaciones Experimentales de Cenicafé.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 2A se presenta el dispositivo comercial (Holt's Nut Wizard, Douglas, GA, U.S.A) evaluado en este estudio para recoger frutos de café caídos al suelo. Este dispositivo es de accionamiento manual, consta de una canastilla en forma elipsoidal, de 27,9 cm de longitud, construida en alambre de acero inoxidable calibre 18 (1,04 mm de diámetro), con espacio libre máximo entre ellos de 7,8 mm, soportada en una estructura metálica ligera, que le permite girar sobre su propio eje. Dispone de un mango de madera de 1,24 m de longitud para su manejo, que le permite alcanzar el plato del árbol sin necesidad de agacharse. Los frutos son introducidos al interior de la canastilla al pasarla sobre éstos y permanecen en su interior, debido a que su propio peso no es suficiente para volver a abrir los alambres (16). Los frutos recogidos con el dispositivo se descargan utilizando un gancho o vaciador para separar los alambres con mínimo esfuerzo y permiten que caigan fácilmente dentro de un recipiente recolector (Figura 2B).

Localización y evaluación. La validación del dispositivo se llevó a cabo en 16 parcelas de

Coffea arabica, de cuatro años de edad, en las Estaciones Experimentales (EE) de Cenicafé y en fincas de caficultores, para el ciclo de cosecha de travesía y cosecha principal, del año 2014 (Tabla 1). Cada lote se dividió en dos partes iguales, parcela testigo y parcela tratamiento, con igual número de árboles. En la parcela tratamiento se recolectaron con la canastilla los frutos de café caídos al suelo después del último pase de las cosechas de travesía y principal, mientras que en la parcela testigo no se recolectaron los frutos.

La pendiente del terreno en las parcelas experimentales varió entre el 0% y el 40%. Para evitar el efecto de borde se dejaron dos surcos libres en los lados externos de cada parcela y entre cada subparcela.

Eficacia de la recolección. Para evaluar la eficacia de la recolección de los frutos en el suelo con la canastilla, en cada lote se escogieron aleatoriamente 30 árboles, independientemente de la condición de platio del árbol y la pendiente del lote. En cada uno se contabilizaron los frutos presentes en el plato de cada árbol antes de hacer el pase con la canastilla, dejándolos en su sitio,



Figura 2. Dispositivo evaluado para recoger frutos de café caídos al suelo. **a.** Accionamiento en el plato del árbol; **b.** Descarga de frutos de café recogidos.

Tabla 1. Estaciones experimentales de Cenicafé (EE) y fincas de caficultores seleccionadas para validar el dispositivo recolector de frutos del suelo.

Finca/EE	Departamento	Municipio	Altitud (m)	Edad (años)	Distancia de siembra (m)	Pendiente (%)	Árboles por hectárea
Cosecha mitaca							
Las Brisas	Risaralda	Pereira	1.436	4	1,0 x 1,2	15-40	5.208
Veracruz	Caldas	Chinchiná	1.378	4	1,0 x 1,0	0	10.000
La Catalina	Caldas	Pereira	1.350	4	1,3 x 1,0	10	7.692
Naranjal	Caldas	Chinchiná	1.400	4	1,5 x 1,0	0	6.667
Cosecha principal							
Paraguaicito	Quindío	Buenavista	1.218	4	1,4 x 1,8	0	7.143
El Agrado	Quindío	Montenegro	1.260	4	1,5 x 1,0	0	6.667
La Catalina	Risaralda	Pereira	1.350	4	1,3 x 1,0	10	7.692
Veracruz	Caldas	Chinchiná	1.400	4	1,0 x 1,0	0	10.000
El Rosario ED	Antioquia	Venecia	1.635	4	1,0 x 1,3	35	7.692
El Rosario M2	Antioquia	Venecia	1.630	4	1,0 x 2,0	32	10.000
El Tambo	Cauca	El Tambo	1.735	4	1,5 x 1,3	20-35	5.128
La Palma	Cauca	El Tambo	1.750	4	1,4 x 1,8	20-30	3.968
La Trinidad	Tolima	Líbano	1.450	3	1,0 x 2,0	20	10.000
La Trinidad	Tolima	Líbano	1.456	5	1,0 x 2,0	5	10.000

y luego, después de realizado el repase con el equipo. A partir de esta información se obtuvo el promedio de frutos recogidos del suelo, en cada parcela de cada tratamiento.

Tiempo empleado en la recolección de frutos del suelo. Se obtuvo considerando el tiempo (s/sitio) que tardó un operario en la recolección de frutos de café presentes en los platos de los árboles. Se evaluaron dos condiciones de plato: plato limpio sin hojarasca y plato cubierto con hojarasca; en cada uno se dispuso un número de frutos en el suelo - 3, 6, 9, 12, 15 - de cada árbol (unidad de trabajo), y por cada condición y tratamiento se tuvieron 15 repeticiones, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, donde el factor de bloque fue el operario.

Determinación del nivel de infestación de broca en el árbol y en el suelo. Para determinar el nivel de infestación y contabilizar

el número de estados biológicos de la broca en cada parcela se seleccionaron aleatoriamente 30 árboles y, en cada uno de ellos, se registró el número de ramas productivas, de las cuales se tomaron dos al azar (con el mayor número de frutos detectado visualmente), para registrar el número de frutos presentes y el número de frutos perforados por broca. Con esta información se estimó el promedio de infestación por árbol en la cosecha siguiente, después de haber realizado el repase al final de la cosecha anterior.

Estimación del número de brocas retiradas del lote con la canastilla. Para determinar el número de brocas retiradas con la canastilla en cada parcela, se pesó el café recolectado por cada operario en cada parcela, para obtener el peso neto de café. De este material se tomó una muestra de 1,0 kg de frutos brocados y de esta muestra se tomaron 100 frutos brocados

para la disección y conteo de los estados biológicos de broca. Con el registro del número de estados de broca en los frutos recogidos del suelo y el promedio del número de frutos brocados caídos en el suelo en el área trabajada (número de árboles por hectárea), se estimó el número de brocas retiradas del lote con la canastilla.

Análisis de calidad física de la almendra.

Antes del pase principal del pico de la cosecha, se seleccionaron aleatoriamente 90 árboles, tanto en la parcela testigo como en la parcela tratamiento (canastilla). De cada parcela se cosechó el café maduro presente en cada árbol y éste se guardó en costales identificados con el tratamiento. En el beneficiadero se registró el peso total cosechado por parcela. Posteriormente, los frutos se beneficiaron y secaron de forma tradicional en cada finca. Con este material se obtuvo la siguiente información:

- **Peso de café cereza por árbol y parcela.** Medido en gramos (g).
- **Conversión.** Por muestra, se obtuvo la relación entre el peso del café cereza y el peso del café pergamino seco (c.p.s.), incluyendo todas las pasillas y flotes.
- **Porcentaje de infestación de broca en el c.p.s.** Del café pergamino seco de cada muestra, se tomaron 250 g y a ésta se le realizó una análisis de calidad física, es decir, se evaluó la cantidad de grano excelso, granos brocados (considerando el peso hasta de 15 granos con “beso de broca”) y otras pasillas. El porcentaje de café brocado se midió como el cociente entre la cantidad de grano brocado y total de café pergamino seco multiplicado por 100. Las muestras fueron analizadas por personal capacitado del beneficiadero en La Granja de Cenicafé.

- **Valor del kilogramo de café pergamino seco.** Este valor se determinó por cada muestra, de acuerdo con la metodología “Factor de Almendra Sana”. El valor se obtuvo según el precio de referencia fijado por la Federación Nacional de Cafeteros, para la semana en la que se realizó la evaluación. Para establecer el Factor de Almendra Sana, se tomó la información del análisis de calidad física, donde fueron tenidos en cuenta los parámetros: total de café pergamino seco, café excelso, pasilla y peso de hasta 15 granos con beso de broca.

Análisis de la información. Con la variable de respuesta y la variable complementaria, se estimó para cada condición y tratamiento el promedio y el error estándar, mediante un análisis de varianza y prueba *t* con el programa estadístico SAS (17).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Eficacia de la recolección de los frutos del suelo con la canastilla. Se observó que la canastilla recoge frutos de café de todas las edades (verdes, pintones, maduros y secos) (Figura 3). Los frutos secos brocados son los más importantes para retirar de lote, porque albergan la mayor cantidad de estados de broca (entre ocho y hasta 150 estados biológicos en dos generaciones o más). Normalmente los frutos secos son difíciles de visualizar en el suelo, debido a que se mimetizan con el follaje seco y el suelo, por tener el mismo color, resultando difícil para el operario verlos y retirarlos de forma manual, a diferencia del equipo que sí los recoge.

La eficacia de la recolección de frutos del suelo con la canastilla varió entre un 42,4% y 95,5% lo cual dependió del nivel de hojarasca presente en el plato del

árbol, la densidad de ramas bajas, y a la destreza del operario en la recolección de éstos, independientemente del porcentaje de pendiente del lote.

Volumen de café recolectado con el dispositivo (peso neto en kilogramos). El número de frutos de café recolectados con la canastilla varió en cada finca, dependiendo del número de frutos caídos dejados por los recolectores en el suelo después de la cosecha, la densidad de siembra (número de árboles por hectárea), las prácticas agronómicas realizadas en cada finca, la recolección oportuna y repases, y en la calidad de la recolección de la cosecha.

En la Figura 4 se relaciona el peso del café cereza por hectárea recogido en cada parcela (en kilogramos) y el promedio del número de frutos caídos en el suelo por árbol. El café caído al suelo varió entre 23,8 y 3,6 frutos por árbol, en promedio, con infestación de broca entre 30,4% y

58,3%. La masa de café cereza recogida del suelo con la canastilla osciló entre 2,4 hasta 38,7 kg.ha⁻¹.

En la cosecha principal del 2014 por las condiciones climáticas de verano prolongado en los meses de junio, julio y agosto se presentaron daños en los frutos de café por efecto de una deficiencia hídrica, lo cual ocasionó frutos vanos con granos parcialmente formados, sin llenado completo del endospermo (defecto de grano “averanado”), que afectó el 10% de la producción en localidades por debajo de 1.300 m de altitud. La relación del daño en los flotes de café en el beneficiadero se distribuyó así: entre un 10% y 30% de los flotes correspondió a frutos brocados y entre un 30% y 85% a frutos averanados.

Tiempo empleado con la canastilla, para la recolección de los frutos de café del suelo. El tiempo empleado por un operario para recoger los frutos del suelo en 30 árboles



Figura 3. Frutos de café recogidos del suelo con el dispositivo. **a.** Frutos secos; **b.** Verdes; **c.** Verdes, secos y maduros; **d.** Todas las edades.

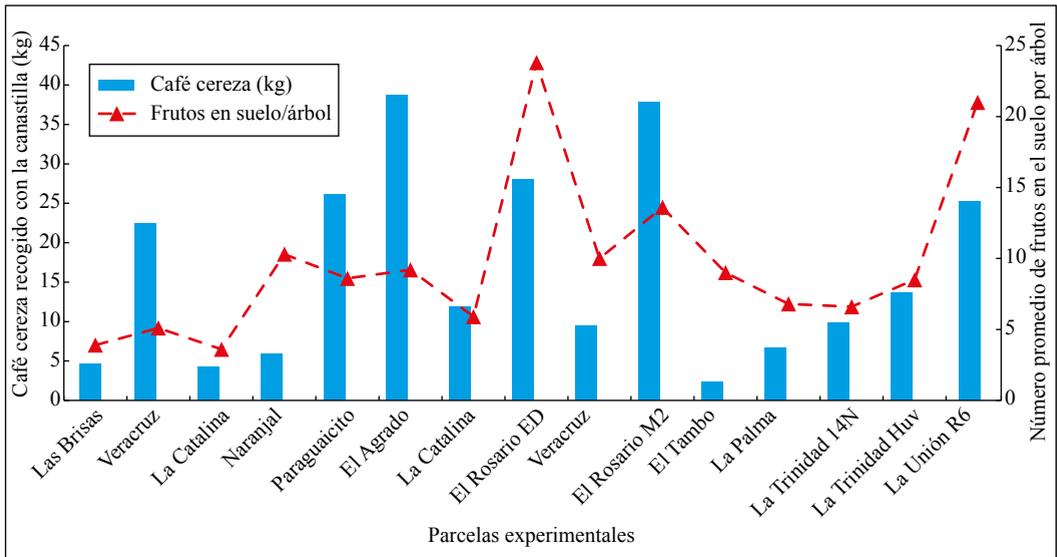


Figura 4. Café cereza recolectado (kg) con canastilla en las parcelas experimentales, con relación al promedio del número de frutos caídos en el suelo.

con la canastilla estuvo entre 3,0 y 26 s/ sitio, independientemente de la condición de plateo del árbol y la pendiente del lote, en lotes con densidades de siembra entre 5.000 a 10.000 árboles/ha. El mayor desempeño de tiempo por operario (3 s/sitio) se obtuvo en un lote sin ramas bajas, en la Estación Experimental La Catalina, con distancias de siembra de 2 x 1 m (dos tallos), lo cual permite mejor visibilidad en el plato del árbol y mayor movilidad al operario entre los surcos y los árboles, para realizar las labores de recolección de los frutos del suelo. Las ramas bajas son improductivas, estorban y son las que contienen la mayor cantidad de frutos brocados en el árbol.

En las dos condiciones del suelo en el plato del árbol, en promedio, se obtuvieron registros de 9,7 s/árbol con eficacia entre 80% y 89,3% con plato limpio y 10,8 s/árbol con eficacia entre 60,2% y 83,3% con el plato cubierto con hojarasca, independientemente del número de frutos caídos (Figura 5). Estos

resultados son similares a los obtenidos por Oliveros *et al.* (16).

Costo de mano de obra. El costo de mano de obra de recolección de frutos del suelo fue de \$126.835/ha, en promedio, estimado con base al Salario Mensual Legal Vigente del año 2014, con prestaciones sociales. El mayor desempeño con el implemento se obtuvo con operarios entrenados, con mayor destreza y habilidad en la recolección de frutos del suelo, con tiempos promedio de 10 s/árbol. Hubo casos de operarios inexpertos que tardaron hasta 34 y 46 s/sitio, lo cual eleva los costos de la mano de obra. En este caso, es necesario que el operario no destine más de 20 s/árbol en la recolección de los frutos del suelo. En general, para una hectárea con densidad de 7.000 árboles se requieren entre 2,0 y 2,4 jornales/ha.

Porcentajes de infestación de broca en el árbol después de realizado el repase con la canastilla. En la Figura 6 se relaciona el

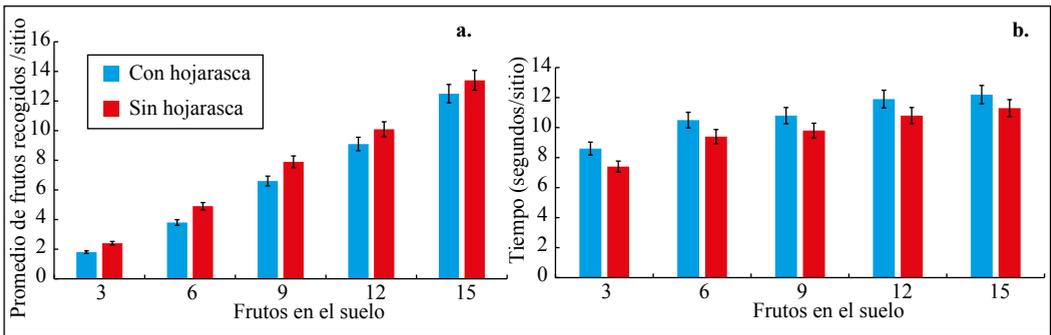


Figura 5. Recolección de frutos del suelo con el dispositivo. **a.** Promedio de frutos recogidos por sitio, bajo dos condiciones de plato, con hojarasca y sin hojarasca, y número de frutos en el suelo; **b.** Tiempo de recolección bajo dos condiciones de plato y número de frutos en el suelo.

porcentaje de infestación de broca obtenido en cada parcela (testigo y tratamiento). En todas las parcelas evaluadas, los menores niveles de infestación de broca estuvieron a favor del tratamiento con canastilla, los cuales fueron significativamente diferentes al testigo ($F= 3,71$; $df= 22$; $P=0,0671$). Los promedios de infestación de broca obtenidos en el árbol fueron de $8,3 \pm 1,8$ en el testigo y $4,2 \pm 1,1$ en el tratamiento, es decir, una disminución del 50,6% de infestación respecto al testigo. Los resultados muestran un mayor nivel de infestación por broca en las parcelas testigo donde no se hizo el repase con la canastilla. En ocho de las 12 parcelas donde se recogieron los frutos del suelo, después del último pase de cosecha, se mantuvieron las poblaciones de broca por debajo del umbral de daño económico (<5%) en la cosecha siguiente. El repase para proteger la cosecha de mitaca se realizó en diciembre de 2013 y el repase de la cosecha principal en junio de 2014. La recolección de los frutos del suelo con el dispositivo ayudó a bajar el nivel de infestación de broca en los frutos del árbol, entre un 32,5% hasta un 71,2% en la cosecha siguiente de café (Figura 6).

La mayor eficacia en la recolección de los frutos del suelo fue superior al 65%. En

dos casos (fincas A y B) donde la eficacia en la recolección de los frutos del suelo estuvo por debajo del 50%, a pesar de que pudo reducirse el nivel de infestación de broca en la cosecha siguiente en un 47,5% con respecto al testigo, no se bajaron las poblaciones de broca por debajo del nivel de daño económico en la cosecha de travesía; sin embargo, en la finca B en la cosecha principal con operarios más experimentados, con una eficacia del 78% en la recolección de los frutos del suelo, se logró bajar el nivel de infestación de broca hasta un 71,2% con respecto al testigo. Estos resultados muestran que entre mayor sea la cantidad de frutos brocados recogidos del suelo, mayores serán los resultados para disminuir la población de broca en el lote y, por consiguiente, la infestación en los frutos del árbol. Igualmente, se obtienen beneficios económicos e incentivos al tener un nivel superior de porcentaje de almendra sana en las parcelas donde se recogen los frutos brocados del suelo.

A las pasillas retiradas del lote es necesario hacerles un tratamiento adecuado para evitar que las brocas escapen e infesten de nuevo la finca, en este caso se recomienda secarlas en marquesinas plásticas, en el silo mecánico o solarizar este café antes

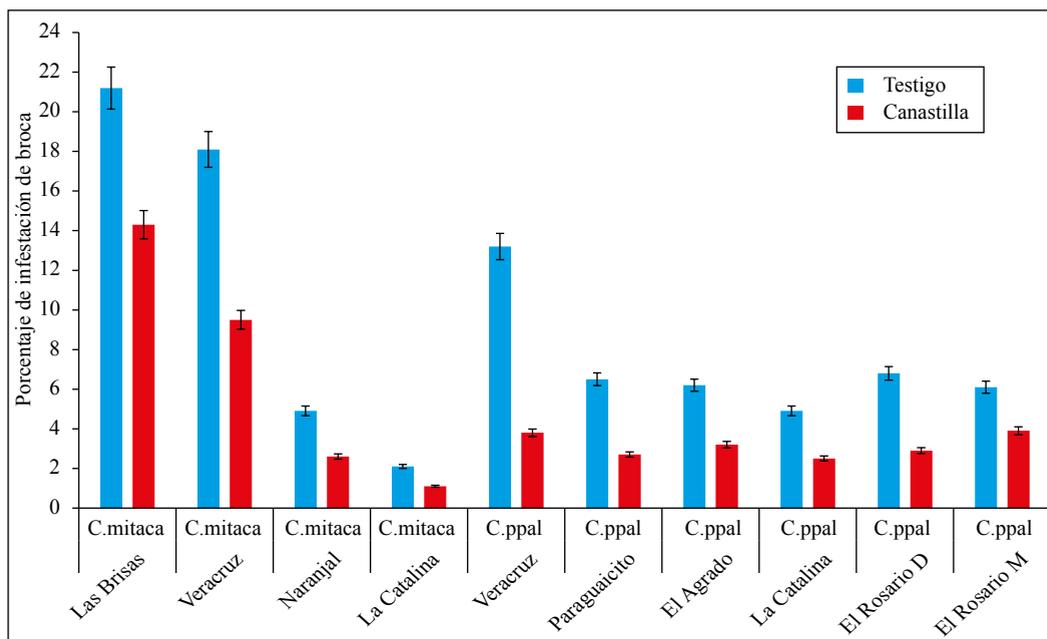


Figura 6. Porcentajes de infestación de broca obtenidos durante las cosechas de mitaca y principal del año 2014, después del repase con canastilla.

de secarlo al sol, en canecas plásticas o marquesinas cubiertas con plástico, durante 48 h para matar las brocas (3).

Precio de compra del café en la Cooperativa de caficultores y análisis de calidad física de la almendra en las cosechas. En la Tabla 3 se presenta el valor del kilogramo de café pergamino seco por muestra a partir de un volumen de 250 g de c.p.s. trillado, obtenido de la cosecha de 90 árboles de café en los testigos y tratamientos con canastilla. El valor del kilogramo de almendra sana se utilizó según el precio de referencia fijado por la Federación Nacional de Cafeteros para la semana en la que se realizó la evaluación, \$ 6.860 en junio 4 de 2014, en la Cooperativa de Caficultores de Manizales para la cosecha de mitaca, y \$ 8.504 en diciembre 10 de 2014, para la cosecha principal. Para establecer el Factor de Almendra Sana se tomó la información del

análisis de calidad física, el peso en gramos de almendra sana (café excelso separado con malla número 13) incorporando hasta 15 granos con broca de punto compensada, separando y pesando aparte la almendra defectuosa (pasilla, pasilla de manos, pasilla de máquinas, broca deteriorada) (Figura 7). Se tomó el precio base pasilla (actualmente a \$ 3.300), con incentivo de \$ 53 si el porcentaje de almendra sana era mayor de 75%. Los resultados muestran que en 11 de las 12 parcelas hubo diferencias significativas respecto al testigo para la variable porcentaje de almendra sana ($F= 2,32$; $df=22$; $P= 0,0061$), con promedios de $78,0\% \pm 1,1\%$ en el tratamiento y $73,1\% \pm 1,3\%$ en el testigo. Es decir, en las parcelas donde se hizo el repase de los frutos del suelo con canastilla, el peso total de grano excelso fue superior al testigo, con porcentajes de almendra sana mayores del 75%, con rangos de 76% hasta 82%, en contraste

con el testigo con porcentajes por debajo de 75%, con rangos de 74% hasta 68% (Tabla 2 y 3). El valor de la carga de 125 kg de café pergamino seco, pagado en la Cooperativa de Caficultores de Manizales, mostró diferencias altamente significativas respecto al testigo para la variable factor de almendra sana ($F=2,31$; $df=22$; $P < 0,0001$) con promedios de \$ 831.616 \pm 31,3 en el tratamiento y \$ 772.614 \pm 22,7 en el testigo (Tabla 3).

Estos resultados muestran que los porcentajes de almendra sana mayores al 75% son de mayor calidad y permitieron generar sobrepuestos de hasta \$130.473 pesos en el pago de una carga de 125 kg de c.ps. (Tabla 3 y Figura 8). Estos excedentes permiten pagar el costo de la mano de obra en el repase con el sobrepuesto de la venta de café de mayor calidad en la finca donde se usa la canastilla, el cual además genera ganancias económicas para el caficultor. En un solo caso (Finca La Palma) los niveles de infestación de broca fueron muy bajos, tanto en la parcela testigo como en el tratamiento, por lo que no hubo diferencias estadísticas en los tratamientos. En las parcelas donde no se recogieron los frutos del suelo no se obtuvo bonificación y se presentaron pérdidas

entre \$ 10.000 hasta \$ 23.000 pesos por cada carga de café (Tabla 3 y Figura 9).

Brocas retiradas con la canastilla en cada parcela. El número de brocas retiradas por hectárea, en cada fecha de evaluación, se presenta en la Tabla 4. El número de brocas retiradas con la canastilla por hectárea en la parcela tratamiento, varió entre 128.673 y 798.000. La mayor cantidad de estados biológicos se observó en los frutos secos, seguido de los frutos maduros que quedan en el suelo después de las cosechas.

Finalmente como consideraciones generales se tiene que:

- La eficacia de recolección de frutos del suelo con el equipo osciló entre 42,4% y 95,0% con promedio de tiempo de 9,7 s/árbol con plato limpio y 10,8 s/árbol con hojarasca.
- El café caído al suelo en las parcelas experimentales varió entre 23,8 y 3,6 frutos por árbol, en promedio, con infestación de broca entre 30,4% y 58,3%.
- El costo de mano de obra de recolección de frutos del suelo, con la canastilla osciló

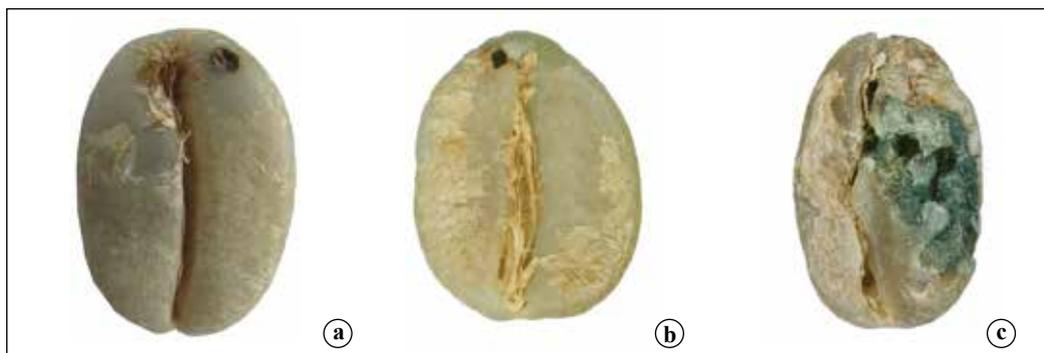


Figura 7. Tipos de granos brocados evaluados en café verde. **a.** Beso de broca; **b.** Punto de broca; **c.** Grano deteriorado por broca.

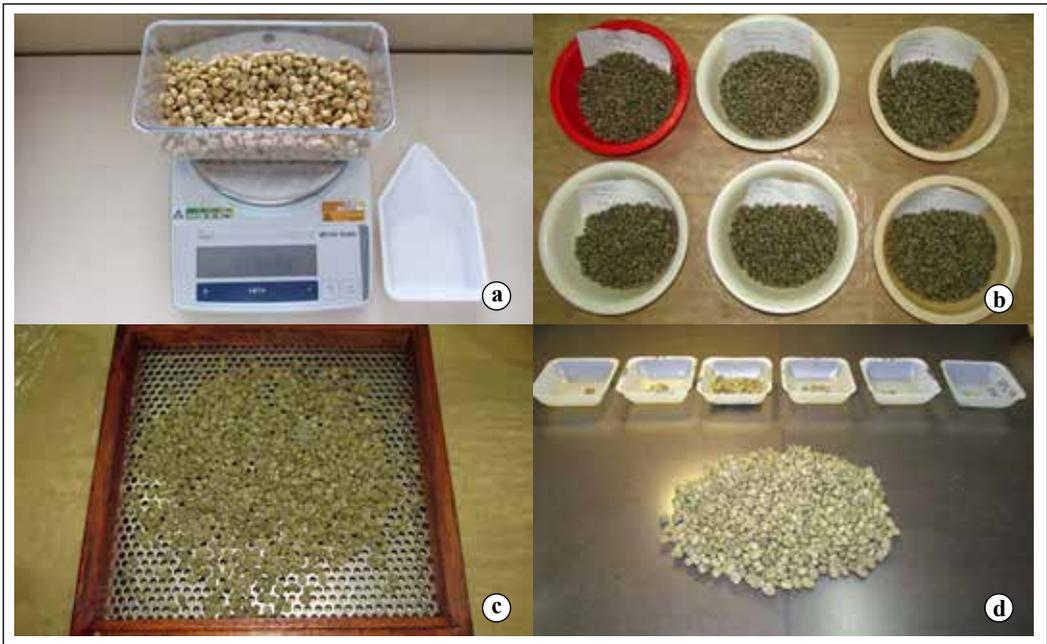


Figura 8. Análisis de la calidad física del café para establecer el Factor de Almendra Sana. **a.** A partir de un peso de 250 g c.p.s.; **b.** Trilla de cada muestra; **c.** Grano excelso separado con malla # 13; **d.** Peso del grano excelso, granos brocados (y dentro de ellos, peso de hasta 15 granos con “punto y beso de broca”), y otras pasillas.

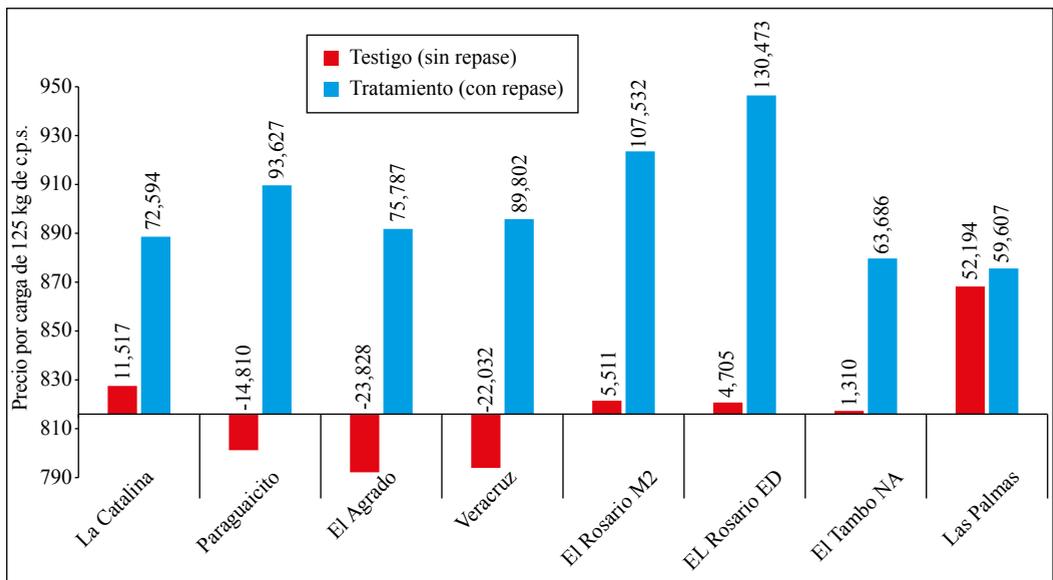


Figura 9. Bonificación y precio del café por carga de 125 kg de c.p.s. en cada lote, durante la cosecha principal del 2014. Precio base por carga de \$ 816.000, en diciembre de 2014.

Tabla 2. Análisis de calidad física (Factor de Almendra Sana) a partir de una muestra de 250 g de c.p.s. de las parcelas testigo y tratamiento, para la cosechas de travesía y principal del 2014.

Finca Estación Experimental	Tratamiento	Peso muestra	Peso excelso	Peso pasilla	Peso brocado	Peso de 15 granos con peso de broca (g)	Peso total	Peso total excelso	Brocado* (%)
Naranjal	Testigo	250	176,7	4,6	5,1	2,0	188,4	178,7	3,7 b
	Canastilla	250	185,5	3,8	5,8	2,0	197,1	187,5	3,9 b
Veracruz	Testigo	250	194,0	4,1	28,5	2,5	229,1	196,5	13,5 a
	Canastilla	250	197,1	2,8	16,2	2,7	218,8	199,8	8,6 b
Las Brisas	Testigo	250	157,8	1,9	38,2	2,1	200,0	159,9	20,9 a
	Canastilla	250	168,4	3,5	27,1	2,0	201,0	170,4	15,4 b
La Catalina	Testigo	250	199,0	0,4	2,4	2,2	204,0	201,2	2,2 b
	Canastilla	250	197,1	0,4	2,4	2,1	202,0	199,2	2,2 b
La Catalina	Testigo	250	180,0	19,0	13,0	2,2	214,2	182,2	7,1 a
	Canastilla	250	192,0	15,0	11,0	2,1	220,1	194,1	5,9 b
Paraguacito	Testigo	250	174,8	14,7	13,2	2,8	205,5	177,6	7,7 a
	Canastilla	250	198,3	7,1	4,9	2,7	213,1	201,0	3,5 b
El Agrado	Testigo	250	171,7	5,2	27,8	1,8	206,5	173,5	14,3 a
	Canastilla	250	195,2	5,6	9,7	2,1	212,6	197,3	5,5 b
Veracruz	Testigo	250	174,6	9,5	16,6	2,0	202,7	176,0	9,1 a
	Canastilla	250	195,3	4,9	13,1	1,9	215,2	197,2	7,1 b
El Rosario M2	Testigo	250	181,0	16,8	9,5	2,0	209,3	183,0	5,5 a
	Canastilla	250	199,9	11,1	2,9	2,6	215,8	201,8	2,6 b
El Rosario ED	Testigo	250	180,0	18,2	8,9	2,5	209,6	182,5	5,4 a
	Canastilla	250	201,2	15,4	2,5	2,7	221,8	203,9	2,3 b
El Tambo NA	Testigo	250	186,7	2,0	9,9	0,9	199,5	187,6	5,4 a
	Canastilla	250	195,2	3,6	4,1	2,2	205,1	197,4	3,1 b
La Palma	Testigo	250	196,4	1,1	0,7	0,6	198,8	197,0	0,6 b
	Canastilla	250	198,5	1,4	0,9	0,0	200,8	198,5	0,4 b

*Los valores promedio dentro de una columna, seguidas por la misma letra, no difieren significativamente al nivel de 5% (prueba de DMRT).

Tabla 3. Precio de compra del café por carga de 125 kg en la Cooperativa de Caficultores de Cafecultores de Manizales, a partir del análisis físico realizado a una muestra de 250 g de c.p.s., cosechado en las parcelas testigo y parcelas tratamiento.

Finca Estación Experimental	Cosecha	Tratamiento	Peso muestra (g)	Almendra sana (%)*	Puntos de incentivo	Incentivo	Valor del kg de c.p.s (\$) (€)	Valor del kg de pasilla (\$) (€)	Valor de la almendra sana***	Valor de la carga (\$) (€)
Naranjal	Mitaca	Testigo	250	71 b	0	0	4.904	128	5.032	628.946
	Mitaca	Canastilla	250	75 b	0	0	5.145	127	5.272	658.965
Veracruz B	Mitaca	Testigo	250	79 a	4	280	5.612	430	6.042	755.295
	Mitaca	Canastilla	250	80 a	5	350	5.762	251	6.013	751.629
Las Brisas	Mitaca	Testigo	250	64 b	0	0	4.388	529	4.917	614.622
	Mitaca	Canastilla	250	68 b	0	0	4.676	404	5.080	634.962
La Catalina	Mitaca	Testigo	250	80 a	5	350	5.803	37	5.840	729.946**
	Mitaca	Canastilla	250	80 a	5	350	5.745	37	5.782	722.736**
La Catalina	Principal	Testigo	250	73 b	0	0	6.198	422	6.620	827.514
	Principal	Canastilla	250	78 a	3	210	6.766	343	7.109	888.594**
Paraguaito	Principal	Testigo	250	71 b	0	0	6.041	368	6.410	801.190
	Principal	Canastilla	250	80 a	5	350	7.119	158	7.277	909.627**
El Agrado	Principal	Testigo	250	69 b	0	0	5.902	436	6.337	792.172
	Principal	Canastilla	250	79 a	4	280	6.932	202	7.134	891.787**
Veracruz	Principal	Testigo	250	71 b	0	0	6.007	345	6.352	793.968
	Principal	Canastilla	250	79 a	2	140	6.929	238	7.166	895.802**
El Rosario M2	Principal	Testigo	250	73 b	0	0	6.225	347	6.572	821.511
	Principal	Canastilla	250	81 a	6	420	7.203	185	7.388	923.532*
El Rosario ED	Principal	Testigo	250	73 b	0	0	6.208	358	6.566	820.705
	Principal	Canastilla	250	82 a	7	490	7.336	236	7.572	946.473**
El Tambo N	Mitaca	Testigo	250	75 b	0	0	6.381	157	6.538	817.310
	Mitaca	Canastilla	250	79 a	4	280	6.936	102	7.037	879.686**
La Palma	Mitaca	Testigo	250	79 a	4	280	6.922	24	6.946	868.194**
	Mitaca	Canastilla	250	79 a	4	280	6.974	30	7.005	875.607**

*Promedios dentro de una columna, seguidos por la misma letra no difieren significativamente al nivel de 5% (prueba de DMRT).

**Valor con sobrepeso por carga de 125 kg de c.p.s. a \$ 663.750 (Jun 4, 2014) y \$ 816.000 (Dic 10, 2014).

***Valor del kilogramo de almendra sana \$ 6.860 (Jun 4, 2014) y \$ 8.504 (Dic 10, 2014) según el precio de referencia fijado por la FNC

Tabla 4. Total brocas retiradas con la canastilla en los frutos brocados del suelo, por hectárea.

Finca Estación Experimental	Frutos en el suelo por árbol	Frutos brocados por árbol Promedio	Estados biológicos por fruto	Total broca en frutos del suelo por árbol	Total árboles por hectárea	Total brocas retiradas en frutos del suelo por hectárea
Las Brisas	12,3	6,3	5,9	37,2	5.208	193.737
Veracruz	13,0	4,1	8,6	35,2	10.000	352.000
La Catalina	5,6	2,2	5,7	12,5	7.692	96.150
Naranjal	4,8	2,8	6,9	19,3	6.667	128.673
Veracruz	23,8	8,9	7,8	69,9	10.000	699.400
Paraguaicito	8,6	2,6	7,2	18,7	7.143	133.574
El Agrado	12,9	4,1	9,2	37,7	6.677	251.856
El Rosario M2	16,2	6,1	9,7	59,2	10.000	592.000
El Rosario ED	11,0	5,1	8,1	41,3	7.692	317.679
El Tambo N	11,1	5,7	10,2	58,1	5.128	298.141
La Palma	21,2	9,5	8,4	79,8	10.000	798.000

entre \$118.252 y \$126.835 por hectárea, en promedio. En general, para una hectárea con densidad de 7.000 árboles se requieren entre 2,0 y 2,4 jornales.

testigo, donde no se obtuvo bonificación por calidad y se presentaron pérdidas entre \$ 10.000 y \$ 23.000 pesos por cada carga de café.

- Los niveles de infestación de broca disminuyen entre un 32,5% y 71,2% con respecto al testigo, cuando se hace el repase con canastilla.
- Con la canastilla pueden retirarse del lote hasta 798.000 brocas por hectárea.
- Los mayores niveles de brocas retiradas del lote, se obtienen en cafetales con distancias de siembra de 2 x 1 m (2 tallos/sitio) con bajo nivel de hojarasca. Ideal con poda de ramas bajas, en cultivos de más de 4 años, que permiten mayor visibilidad en el plato del árbol.
- El mayor sobrepeso por venta de almendra sana fue de \$130.473 pesos por carga de 125 kg de c.p.s. en la parcela donde se hizo repase de los frutos del suelo con el dispositivo, en contraste con las parcelas
- El uso de la canastilla es seguro, cómodo, ergonómico y más eficiente para el operario frente a la recolección manual.
- El repase con canastilla es útil después de las cosechas, para recoger frutos de café caídos al suelo dentro de una estrategia de Manejo Integrado de la Broca del Café (MIB), en el cual el control cultural es la práctica más importante y fundamental para mantener las poblaciones de broca por debajo del nivel de daño económico (con niveles de infestación inferiores al 5%). El repase en la zona central cafetera tal como lo recomienda Cenicafé debe realizarse al final de la cosecha de mitaca (mayo-junio) para proteger los frutos en formación de la cosecha principal y otra en noviembre-diciembre para proteger los frutos en formación de la cosecha del primer semestre o mitaca (4).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a los coordinadores y personal de las Estaciones Experimentales de Cenicafé Carlos Gonzalo Mejía coordinador de la Disciplina de Experimentación, Jhon Félix Trejos de Naranjal, Diego Montoya de La Catalina, Myriam Cañón de Paraguaicito, Carlos Mario Ospina de El Rosario, Jorge Camilo Torres de La Trinidad, Hernán Darío Menza de El Tambo, Germán Huertas de la finca El Agrado; a los caficultores Juan Guillermo Londoño (Finca Las Brisas), Andrés González (Finca Veracruz), Pedro José Salazar (Finca La Palma), Gabriel Tamayo (Finca El Amparo). Especial agradecimiento a los auxiliares de las Disciplinas de Entomología Carlos A. Quintero y Diana S. Rodríguez, de Poscosecha José Farid López y Javier Velásquez, y de Calidad Claudia Gallego y Gustavo Echeverri. A la Cooperativa de Caficultores de Manizales sede Chinchiná, al Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros del Quindío, Caldas, Antioquia, Risaralda y Valle y a la Gerencia Técnica de la FNC por la financiación de este trabajo.

LITERATURA CITADA

1. ACOSTA A., R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R. Recolección de frutos de café caídos al suelo. *Cenicafé* 57(4):312-319. 2006.
2. BENAVIDES M., P. Evite la dispersión de la broca durante la recolección y el beneficio del café. *Chinchiná : Cenicafé*, 2010. 2 p. (Brocarta No. 40).
3. BENAVIDES M., P. El repase: Actividad para el manejo de la broca del café en Colombia. *Chinchiná : Cenicafé*, 2012. 1 p. (Brocarta No. 46)
4. BENAVIDES M., P. ¿Cuándo debe realizarse el repase en los cafetales?. *Chinchiná : Cenicafé*, 2013. 1 p. (Brocarta No. 47)
5. BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; CONSTANTINO C., L.M.; VILLEGAS G., C.; GIRALDO J., M. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae). p. 216-225. En: CENICAFÉ. Manual del cafetero Colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura

colombiana. Manizales : FNC : Cenicafé, 2013. 3 vols.

6. BUSTILLO P., A.E.; CARDENAS M., R.; VILLALBA G., D.A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F.J. Manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. *Chinchiná : Cenicafé*, 1998. 134 p.
7. CASTAÑO S., A.; BENAVIDES M., P.; BAKER, P.S. Dispersión de *Hypothenemus hampei* en cafetales zoqueados. *Cenicafé* 56(2):142-150. 2005.
8. CHAMORRO T., G.E.; CARDENAS M., R.; HERRERA H., A. Evaluación económica y de la calidad en taza del café proveniente de diferentes sistemas de recolección manual, utilizables como control en cafetales infestados de *Hypothenemus hampei*. *Cenicafé* 46(3):164-175. 1995.
9. CONSTANTINO C., L.M.; GIL P., Z.N., BUSTILLO P., A.E.; BENAVIDES M., P. Impacto de los frutos de café caídos al suelo e infestados por broca, *Hypothenemus hampei*, sobre la infestación en el árbol. Medellín : Sociedad colombiana de entomología, 2009.
10. CONSTANTINO C., L.M. La broca del café: Un insecto que se desarrolla de acuerdo con la temperatura y altitud. *Chinchiná : Cenicafé*, 2010. 2 p. (Brocarta No. 39)
11. HOLT'Z NUT WIZARD. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.holtsnutwizard.biz/>. Consultado en abril de 2015.
12. INNOVAKIT. [En línea]. Disponible en internet: <http://www.innovakit.com>. Consultado en abril de 2015.
13. MARTÍNEZ R., R.A.; MONTOYA R., E.C.; VÉLEZ Z., J.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos de la cosecha manual del café en condiciones de alta pendiente. *Cenicafé* 56(1):50-66. 2005.
14. OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ V., J.A.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; MORENO C., E.; PEÑUELA M., A.E. Cosecha manual de café utilizando mallas plásticas. *Manizales : Cenicafé*, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 354)
15. OLIVEROS T., C.E.; LÓPEZ F., H.A.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; BUSTILLO P., A.E. Recolección de frutos de café del suelo con la máquina Cifarelli V77S. *Manizales : Cenicafé*, 2010. 12 p. (Avances Técnicos No. 394).
16. OLIVEROS T., C.E.; MEDINAR, R.D.; TIBADUIZA V., C.A. Evaluación de un dispositivo manual en la recolección de frutos de café caídos al suelo. *Cenicafé* 65(2):33-41. 2014.
17. SAS Institute. SAS/STAT® 9.4 user's guide. North Carolina : SAS Institute, 2014. 738 p.

EL CICLO DE LAS MANCHAS SOLARES Y LA PRECIPITACIÓN EN LA REGIÓN CENTRAL CAFETERA DE COLOMBIA

Fernando Alfonso González Lozano*

GONZÁLEZ L., F.A. El ciclo de las manchas solares y la precipitación en la región Central Cafetera de Colombia. *Revista Cenicafé* 68 (1): 38-54. 2017

Con el propósito de identificar posibles efectos del ciclo de la actividad solar en el clima de la Región central cafetera de Colombia, se estableció mediante correlaciones una relación inversa entre el índice de las manchas solares y la precipitación anual en las estaciones climáticas: Cenicafé, Naranjal, La Bella, Miguel Valencia. Esta relación presenta alta significación estadística para las tres primeras estaciones, mayor con la serie del índice solar rezagada en uno y dos años. Las auto-correlaciones y los semivariogramas calculados, hasta 24 rezagos para las series de precipitación anual, muestran un ciclo de 10-11 años para Cenicafé y Naranjal, para La Bella se evidencia el ciclo en los rezagos 6 y 16 con relación inversa. Los espectros de frecuencias de las precipitaciones obtenidos mediante la transformada rápida de Fourier, muestran que el espectro de Cenicafé insinúa el ciclo de 11 años entre otros ciclos, el de Naranjal privilegia el ciclo de 11 años, y el de La Bella destaca ciclos de 22 y 11 años. Finalmente, para comprobar un acoplamiento entre las lluvias regionales y el ciclo solar, se realizó una comparación estadística entre el promedio de precipitación de los años coincidentes con los mínimos del ciclo solar y el promedio de precipitación de los años coincidentes con los máximos del ciclo, la cual resultó con una alta significación para las series de Cenicafé, Naranjal y La Bella. Corroborándose la influencia de la actividad solar en las precipitaciones, de utilidad en el pronóstico de la disponibilidad hídrica regional.

Palabras clave: Ciclos precipitación, variabilidad climática, auto-correlación, precipitación anual.

THE CYCLE OF SUNSPOTS AND PRECIPITATION IN THE CENTRAL COFFEE REGION OF COLOMBIA

In order to identify possible effects of the solar activity cycle on the climate of the Central Coffee Region of Colombia, an inverse relation was established between the sunspot index and the annual precipitation in the weather stations: Cenicafé, Naranjal, La Bella, and Miguel Valencia. This relation has high statistical significance for the first three stations, higher with the solar index series delayed in one and two years. Calculated auto-correlations and semivariograms, up to 24 delays for the annual rainfall series, show a cycle of 10-11 years for Cenicafé and Naranjal; for La Bella, the cycle is evidenced in delays 6 and 16 with inverse relation. The frequency spectra of the precipitations obtained by the fast Fourier transform show that the Cenicafé spectrum insinuates the cycle of 11 years, among other cycles, that of Naranjal privileges the cycle of 11 years, and that of La Bella highlights cycles of 22 and 11 years. Finally, a statistical comparison between the average rainfall of the years coinciding with the solar cycle minimums and the average precipitation of the years coinciding with the maximums of the cycle was made to verify a coupling between the regional rains and the solar cycle. This comparison shows a high significance for the series of Cenicafé, Naranjal and La Bella. The influence of solar activity on precipitation is corroborated, which is useful in the forecast of regional water availability.

Keywords: Precipitation cycles, climatic variability, autocorrelation, annual precipitation.

* Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
Profesor titular. fagonzalez@unal.edu.co

La influencia de la actividad solar en el clima de la Tierra ha sido objeto de análisis, y en no pocos casos de controversias, entre los científicos y estudiosos del clima. Las manchas solares son un indicativo de las variaciones en la actividad solar; si bien la contribución de los ciclos de las manchas solares (11 años), a la variación del balance de energía en la baja troposfera es de apenas 0,1%, unos 0,3 W.m⁻² según mediciones satelitales (8), estudios recientes presentan evidencias crecientes de que la actividad solar tiene una influencia en el clima terrestre mediante una conexión entre la estratosfera y la troposfera, como influencia de los ciclos solares (2, 3).

Algunos autores han postulado a las fluctuaciones de la incidencia sobre la Tierra de los rayos cósmicos galácticos, como una posible causa de variaciones climáticas, incidencia que es controlada por la actividad solar, cuando ésta aumenta (disminuye) los rayos cósmicos incidentes disminuyen (aumentan). Los rayos cósmicos, a su vez, afectarían el clima terrestre propiciando la formación de amplias coberturas de nubes bajas; Dorman (8) presenta una síntesis de los avances en esta temática y cita los principales autores. Mediante la concentración de radiocarbono 14C, una medida indirecta de la intensidad de los rayos cósmicos, se ha logrado establecer que durante el período medieval cálido, 1000-1300 DC, cuando los vikingos se establecieron en Groenlandia, la actividad solar fue alta y la incidencia de rayos cósmicos baja. Luego, la actividad solar decreció y la incidencia de rayos cósmicos aumentó hasta llegar a los mínimos de Spörer 1460-1550 y de Maunder 1645-1715, con la ausencia total de manchas solares, reflejo de una baja actividad solar, y también el de Dalton, 1795-1825, con escasas manchas solares. El continente Euroasiático y Norteamérica, por lo menos, entraron en un período frío de cerca

de cuatro siglos 1450-1840, denominado la Pequeña Edad del Hielo, que cubija tanto el mínimo de Spörer como el de Maunder y el de Dalton (8, 14, 19).

La Pequeña Edad de Hielo también se manifestó en el territorio colombiano, en general, y en el Eje Cafetero, en particular, como lo demuestran los hitos geomorfológicos en el Parque Natural los Nevados, en especial las morrenas recientes de las laderas del Nevado Santa Isabel, que se encuentran a los 4.400 m de altitud (9, 11). Las crónicas de los historiadores de Indias y algunos documentos coloniales sobre prácticas agrícolas del entonces, dan noticia de una época claramente más fría que los subsiguientes siglos XIX y XX (11).

Habida una posible conexión entre la actividad solar y el clima regional, cabe preguntarse: ¿Los ciclos de 11 años de las manchas solares y los ciclos de 22 años del campo magnético solar afectan el clima de la Región del Eje Cafetero? Para contestar esta pregunta se recurre a la aplicación de varios métodos estadísticos: correlación, coeficientes de Pearson y Spearman, entre la serie del número de las manchas solares (SunSpot Number -SSN-) y las series de precipitación anual de cuatro estaciones climatológicas operadas por Cenicafé, con más de 60 años de registros; auto-correlaciones, coeficientes de Pearson y Spearman, semivariogramas, análisis del espectro de frecuencias mediante la aplicación de la transformada rápida de Fourier y, finalmente, comparación estadística entre el promedio de precipitación de los años coincidentes con los mínimos en el ciclo de las manchas solares y el promedio de los años coincidentes con los máximos en ese ciclo.

La detección de un ciclo de baja frecuencia, 11 ó 22 años, en la dinámica de las precipitaciones

regionales se hace dispendiosa por la variabilidad temporal y espacial que otros factores le imponen al clima en Colombia, velando el efecto que pueda tener el ciclo de la actividad solar. Factores como la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), El Niño – Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación Cuasi – Bional (QBO), la corriente superficial del Chocó, el calentamiento global, los sistemas convectivos de mesoescala, la oscilación de Madden-Julian, las circulaciones valle-montaña, las características fisiográficas locales, el cambio en el uso de la suelo, la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), actúan en diferentes escalas y con distinta profundidad (11, 17, 22).

En la literatura científica mundial se encuentran numerosos artículos que dan cuenta de lugares de la Tierra con influencia del ciclo de las manchas solares en la precipitación, correlación positiva y negativa, y de lugares en los que no se presenta esta relación (1, 6, 7, 10, 16, 18, 24, 25). En contraste, son escasos los estudios colombianos sobre la temática. Peña *et al.* (20), mediante técnicas matemáticas descriptivas, determinaron que se detecta la señal de ciclos entre 10 y 30 años, en series de precipitaciones del Eje Cafetero, e imputan como posibles causas las oscilaciones periódicas del Océano Pacífico y de la actividad solar. Peña *et al.* (21), calcularon auto-correlaciones de series pluviales de la zona cafetera colombiana, buscando evidencias de ciclos interanuales, sin hallar correlaciones con significancia estadística. En Colombia no se cuenta con estudios que hayan comprobado con datos pluviométricos nacionales el efecto del ciclo de la actividad solar o un comportamiento cíclico alrededor de los 11 años, en las precipitaciones locales.

Además del interés científico por desentrañar posibles acoplamientos entre el ciclo de las

manchas solares y las precipitaciones regionales, el detectar un comportamiento recurrente en las lluvias asociado a la actividad solar, con ciclos de 11 y 22 años, sería de gran utilidad en el pronóstico a largo plazo de la disponibilidad hídrica regional. El ciclo solar es absolutamente predecible por su regularidad marcada, lo que permite con una alta certidumbre su pronóstico a mediano y largo plazo, y por ende, también puede pronosticarse su efecto pluviométrico (6, 10). No sucede así con las recurrencia del ENSO, a la que algunos autores califican de caótica, entre dos y diez años, no de ciclos o variaciones periódicas de este fenómeno (4).

MATERIALES Y MÉTODOS

Como **índice de la actividad solar** se utilizó el *SunSpot Number* (SSN), total promedio anual, ubicado en la fuente: “*WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels*”, en su versión 2.0, vigente desde el primero de julio del 2015.

Se tomaron los **datos de precipitación, anuales y mensuales**, de cuatro estaciones climatológicas, operadas por Cenicafé, por su largo período de cubrimiento, más de 60 años, y la cuidadosa depuración y crítica de su información: Estación climática Cenicafé 1942-2014 (5° 00' N, 75° 34' W, 1310 m), Estación climática Naranjal 1951-2014 (4° 58' N, 75° 39' W, 1380 m), Estación climática La Bella 1950-2014 (4° 30' N, 75° 40' W, 1450 m) y Estación climática Miguel Valencia 1953-2011 (5° 36' N, 75° 51' W, 1620 m). Todas las estaciones climáticas están ubicadas en la cuenca del Cauca Medio, en la Región del Eje Cafetero, las tres primeras en las estribaciones de la cordillera Central vertiente occidental y la última en la vertiente oriental de la cordillera Occidental. Información pluviométrica publicada en

el Anuario Meteorológico Cafetero. Los estudios en diferentes regiones del mundo sobre el tema se basan en extensos períodos de cubrimiento, la mayoría con 90 años o más (7, 10, 16, 18, 24). Las series de las cuatro estaciones relacionadas son las más extensas de la región, y son de las más largas de Colombia.

Índice mensual de la anomalía de la temperatura superficial del mar (SST) en el paralelogramo Niño3 (5°N - 5°S, 150°W - 90°W)¹. Se seleccionó la anomalía SST Niño3, como índice del ENSO, porque este índice de la anomalía de la temperatura superficial del océano Pacífico Tropical posee alta correlación con las series pluviométricas regionales y porque este paralelogramo o bloque es adyacente a la costa Pacífica colombiana (11).

Se aplicaron métodos de la estadística descriptiva convencional como son: los promedios mensuales multianuales, la correlación entre series y la auto-correlación, con base en los estadísticos de Pearson y Spearman, y la comparación clásica entre los promedios de dos poblaciones. También se aplicó el método descriptivo del semivariograma y el método de análisis espectral con base en la transformada rápida de Fourier. Estos métodos se aplicaron haciendo uso del paquete estadístico *IBM SPSS Statistics versión 22*, excepto el semivariograma que se programó. A continuación se describen de manera resumida los métodos aplicados y representados en figuras mediante la hoja de cálculo *Excel Office*:

- Para caracterizar el régimen pluviométrico multianual e ilustrar la magnitud de las lluvias mensuales, se calcularon los

promedios mensuales multianuales de las cuatro estaciones climatológicas, con los cuales se construyó una figura ilustrativa.

- Correlaciones, coeficientes de Pearson y Spearman, entre las series de precipitación anual de las cuatro estaciones, la serie de las manchas solares promedios anuales (SunSpot Number) y sus primeros tres rezagos, la serie de la anomalía de la temperatura superficial del mar en Niño3 y su primer rezago. Como el presente es un estudio exploratorio se emplearon ambos coeficientes: el de Pearson, lineal, y el de Spearman que puede dar cuenta de relaciones no-lineales entre las variables.

El coeficiente de correlación de Pearson se simboliza con la letra $\rho_{X,Y}$. Su expresión matemática se presenta en la Ecuación <1>:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} <1>$$

Donde:

σ_{XY} : Covarianza de (X,Y)

σ_X : Desviación típica de la variable X

σ_Y : Desviación típica de la variable Y

El coeficiente de correlación de Spearman es una medida no-paramétrica de la asociación entre dos variables, cuando la función es monótona creciente o decreciente infiere una correlación perfecta. En contraste, el coeficiente de Pearson sólo infiere correlación perfecta cuando la función es lineal. El coeficiente de Spearman es menos sensible a valores atípicos y logra detectar relaciones no-lineales, que el coeficiente de Pearson desearía. Parte de ordenar las dos variables; X, Y y para cada par medir la distancia entre la ubicación de x_i y y_i , de ahí su nombre en inglés: *Spearman's rank correlation coefficient*.

¹ Fuente: *National Oceanic and Atmospheric Administration -NOAA-, USA.*

Su expresión matemática se presenta en la Ecuación <2>:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad \langle 2 \rangle$$

Donde:

d_i : Diferencia en el orden entre x_i y y_i
 n : Número de parejas

- Auto-correlación de las series de precipitación anual de las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella, con sus 24 primeros rezagos, haciendo uso de los coeficientes de Pearson y Spearman.
- Semivariograma de las series de precipitación anual de las estaciones agroclimáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella. Función de distancia utilizada en la interpolación espacial, pero que aquí se hizo uso de ella, para medir similitudes no en el espacio sino en el tiempo, de la serie y sus rezagos, tal como lo planteado por Peña *et al.* (20, 21), donde se describe en detalle el método. Su expresión matemática se presenta en la Ecuación <3>:

$$\gamma(h) = \frac{\sum (Z(t+h) - Z(t))^2}{2n} \quad \langle 3 \rangle$$

Donde:

$\gamma(h)$: Semivarianza
 h : Rezago en años
 $Z(t)$: Valor de la función
 n : Cantidad de pares separados un tiempo h

- El semivariograma se gráfica dividiendo la semivarianza por la varianza muestral. Su interpretación es distinta a la de la correlación: valores inferiores a uno indican alta similitud de la serie y su rezago, valores alrededor de uno muestran que no existe relación entre la serie y su rezago, y valores altos, superiores a uno, una relación inversa entre la serie y su rezago. Este método se programó, debido a que el paquete estadístico SPSS no cuenta con él.

- Espectro de frecuencia de las series anuales de precipitación de Cenicafé, Naranjal y La Bella, SSN y anomalías SST Niño3. El análisis espectral de una señal digital consiste en identificar sus distintos componentes dentro del dominio de la frecuencia, lo cual se obtiene mediante la transformada rápida de Fourier (Ecuación <4>):

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N} kn} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad \langle 4 \rangle$$

En las ecuaciones los números complejos X_k representan la amplitud y fase de diferentes componentes sinusoidales de la señal X_n , es decir, de la serie.

- Comparación entre medias. La prueba de diferencia entre dos muestras se utiliza para decidir si las medias de dos poblaciones son iguales. Se definieron así las dos poblaciones para cada una de las cuatro estaciones: Cenicafé, Naranjal, La Bella y Miguel Valencia:

- Precipitaciones de los años coincidentes con los mínimos solares y de los dos años subsiguientes.
- Precipitaciones de los años coincidentes con los máximos solares y de los dos años subsiguientes.

Se planteó la hipótesis nula $H_0: \mu_x = \mu_y$, o su equivalente, $H_0: \mu_x - \mu_y = 0$. El estadístico t para probar si las medias poblacionales son distintas puede calcularse como se presenta en la Ecuación <5>:

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\frac{s_x - s_y}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x} + \frac{s_y^2}{n_y}}}} \quad \langle 5 \rangle$$

Donde:

n_x, n_y : Tamaño de las muestras
 \bar{X}, \bar{Y} : Estimadores muestrales de las medias
 S_x^2, S_y^2 : Estimadores muestrales de las varianzas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El patrón o régimen pluviométrico multianual de las cuatro estaciones climáticas analizadas se caracteriza por una forma de doble onda o bimodal, de la distribución de las lluvias en el transcurso del año, típica del Ecuador climático, cuyos máximos coinciden con el mayor calentamiento atmosférico que sucede en los días posteriores a las dos posiciones cenitales del sol sobre la región. El patrón pluviométrico de doble onda típico del Ecuador climático de la región del Eje Cafetero, ocasionado por el doble paso de la ZCIT, sufre variaciones según prevalezca la influencia de los vientos Alisios del Norte o de los Alisios del Sur. En el norte de la región del Eje Cafetero, en la estación Miguel Valencia (5° 36' N), se registra un período de relativa sequía más pronunciado a final del año, en el trimestre Diciembre-Enero-Febrero. En el Sur, en la estación La Bella (4° 30' N), ocurre a la inversa, el período de relativa sequía más pronunciado se registra a mitad del año, en el trimestre Junio-Julio-Agosto. En las estaciones Cenicafé (5° 00' N) y Naranjal (4° 58' N) el régimen pluviométrico multianual presenta gran similitud entre los dos semestres del año, indicativo de la ubicación geográfica del Ecuador climático

(11, 12). La Figura 1 muestra lo anterior e ilustra la magnitud de las lluvias mensuales.

La Tabla 1 muestra las correlaciones y coeficientes de Pearson y Spearman, entre las series de precipitación anual de las cuatro estaciones climáticas, el SSN y sus tres primeros rezagos, y la serie de la anomalía SST Niño3 y su primer rezago.

Las correlaciones entre las series pluviométricas son altas, estadísticamente significativas al 99%. La mayor de 0,870, se registra entre Cenicafé y Naranjal estaciones cercanas, y la menor de 0,593, entre las estaciones más alejadas: La Bella y Miguel Valencia.

Las series pluviométricas están estrechamente relacionadas con el SSN y sus dos primeros rezagos, salvo la serie de Miguel Valencia que sólo tuvo una correlación significativa al 95% con el segundo rezago, calculada con el coeficiente de Spearman. Las correlaciones de las series de Cenicafé, Naranjal y La Bella, con las series del SSN y sus rezagos, son estadísticamente significativas, en especial, con el primer y segundo rezagos, con significancia del 99%. Las correlaciones con el tercer rezago no

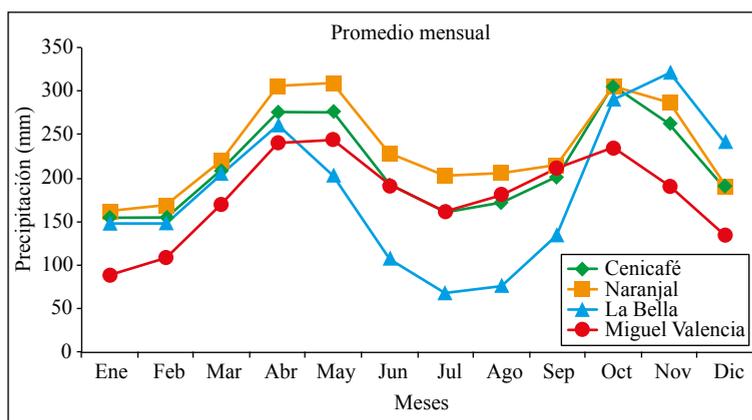


Figura 1. Regímenes de precipitación región del Eje Cafetero.

Tabla 1. Correlaciones de precipitación anual - *SunSpotNumber* - *AnomaliaSSTNiño3* (coef. Pearson, Spearman).

	Precipitaciones anuales										<i>SunSpotNumber</i> (SSN), índice y rezagos		<i>AnomaliaSSTNiño3</i> , rezago		
	Naranjal		La Bella		Miguel Valencia		SSN	SSN (-1)	SSN (-2)	SSN (-3)	AnomNiño3	AnomNiño3 (-1)			
	coef.	p.valor	coef.	p.valor	coef.	p.valor	0,867	0,724	0,729	-0,317	-0,374	-0,349	-0,187	-0,505	-0,038
Pearson															
Spearman															
n	64	64	59	73	73	73	64	64	64	64	65	64	64	64	64
Pearson	1	0,682	0,699	-0,328	-0,435	-0,408									
p.valor		0,000	0,000	0,008	0,000	0,001									
Spearman	1	0,607	0,691	-0,318	-0,444	-0,444									
p.valor		0,000	0,000	0,011	0,000	0,000									
n	64	64	59	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Pearson	1	0,593	0,593	-0,319	-0,417	-0,334									
p.valor		0,000	0,000	0,010	0,001	0,007									
Spearman	1	0,609	0,609	-0,337	-0,413	-0,320									
p.valor		0,000	0,000	0,006	0,001	0,010									
n	59	64	59	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Pearson															
p.valor															
Spearman															
p.valor															
n	59	64	59	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
Pearson	1	-0,131	1	-0,228	-0,248	-0,189									
p.valor		0,324	0,058	0,153	0,058	0,153									
Spearman	1	-0,114	1	-0,197	-0,270	-0,190									
p.valor		0,388	0,135	0,038	0,150	0,150									
n	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59	59
Pearson															
p.valor															
Spearman															
p.valor															
n	75	74	75	74	74	73	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Pearson	1	0,799	1	0,799	0,370	0,055									
p.valor		0,000	0,289	0,001	0,001	0,289									
Spearman	1	0,794	1	0,794	0,355	0,078									
p.valor		0,000	0,263	0,002	0,002	0,263									
n	75	74	75	74	74	73	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Pearson															
p.valor															
Spearman															
p.valor															
n	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Pearson	1	0,118	1	0,141	0,055	0,083									
p.valor		0,350	0,262	0,651	0,514	0,087									
Spearman	1	0,114	1	0,160	0,079	0,087									
p.valor		0,365	0,203	0,529	0,496	0,087									
n	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65

poseen significancia estadística, excepto la de Naranjal.

La serie de la estación climática Miguel Valencia cuenta con 59 años de información, se comprobó que las correlaciones de las series de las otras estaciones con el SSN y sus dos primeros rezagos, calculadas en el mismo período de cubrimiento que el de la estación Miguel Valencia, no sufren cambios que afecten su significación estadística. No es por poseer un período de cubrimiento menor, que Miguel Valencia presenta un comportamiento diferente a las otras estaciones, con respecto a la relación con el SSN.

La relación entre las precipitaciones regionales y el ENSO es estrecha, como lo comprueban las altas correlaciones negativas entre las series pluviométricas y la anomalía SST Niño3. Hecho que lo han manifestado numerosos estudios para Colombia y para el Eje Cafetero, en particular Poveda (22) y González (11). No hay relación entre las precipitaciones anuales regionales y la serie de la anomalía SST Niño3 rezagada.

La correlación de SSN, serie anual, con su primer rezago es muy alta y aún

tiene alta significación estadística con su segundo rezago. No así, la anomalía SST Niño3 anual con su inmediato rezago; lo que tiene importancia al construir modelos de pronóstico de lluvia con plazo de años.

Las correlaciones entre las anomalías SST Niño3 y el SSN y sus rezagos son bajas y estadísticamente despreciables, lo que indica una baja o nula relación entre el ENSO y el ciclo solar. Algunos estudios han llegado a esta conclusión empleando métodos más elaborados (13).

Con miras a tener una cuantificación que permita comparar el efecto del SSN y del ENSO en las lluvias regionales se construyó la Tabla 2, donde se advierte, en el R^2 del modelo de regresión lineal univariado, que la influencia del ENSO es mayor que la del ciclo solar. Pero en tres estaciones climatológicas: Cenicafé, Naranjal y La Bella, el efecto del ciclo solar no es nada despreciable, incluso en Naranjal es superior al del ENSO.

Los resultados anteriores advierten de un posible acoplamiento entre el ciclo solar y las lluvias regionales. Cabe preguntarse entonces, si el ciclo solar de 11 años se manifiesta en la dinámica de las precipitaciones, para

Tabla 2. Variación explicada modelo de regresión lineal R^2 .

Precipitación		SSN (-1)	SSN (-2)	AnomNiño3
Cenicafé	R^2 (%)	14,0	12,2	25,5
	ANOVA p.valor	sí	sí	sí
Naranjal	R^2 (%)	18,9	16,7	17,0
	ANOVA p.valor	sí	sí	sí
La Bella	R^2 (%)	17,1	11,2	20,4
	ANOVA p.valor	sí	sí	sí
Miguel Valencia	R^2 (%)	5,2	6,2	28,9
	ANOVA p.valor	no	no	sí

sí: estadísticamente significativo al nivel del 99% de confianza

no: estadísticamente no significativo al nivel del 95% de confianza

lo cual se calcularon las auto-correlaciones, coeficientes de Pearson y Spearman, de las series de precipitación anual de las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella, que presentaron correlaciones estadísticamente significativas con el SSN (Figuras 2, 3 y 4).

La Figura 2 advierte que las mayores correlaciones positivas se encuentran con los rezagos de orden 11 y 21. Con el rezago 17, al estar en la fase inversa del ciclo, los valores de la correlación son negativos. La correlación de este rezago calculada con el coeficiente de Spearman es estadísticamente significativa al nivel del 95%.

La auto-correlación de Naranjal (Figura 3), es estadísticamente significativa al 95% con el coeficiente de Pearson, para los rezagos 1, 3 y 10, para el rezago 10 es estadísticamente significativa con el coeficiente de Spearman, y evidencia de un posible ciclo decadal.

La Figura 4 muestra correlaciones negativas altas en los rezagos 6 y 16, que se encuentran en la fase inversa del ciclo, correlaciones que son estadísticamente significativas al 95% con los dos coeficientes.

La auto-correlaciones de la precipitación anual de las tres estaciones climáticas (Figuras 2, 3 y 4) muestran correlaciones altas y positivas en rezagos alrededor del ciclo decadal, rezagos 10 y 11, o en la fase inversa del ciclo correlaciones negativas, rezagos 6, 16 y 17, que alcanzan a tener significación estadística. Lo anterior no es prueba amplia y suficiente de un ciclo de 11 años en las precipitaciones regionales, pero sí es un indicio importante de la existencia del ciclo.

Recientemente se ha aplicado la función de distancia denominada semivariograma, para detectar ciclos de baja frecuencia en las precipitaciones regionales (20). Aquí se

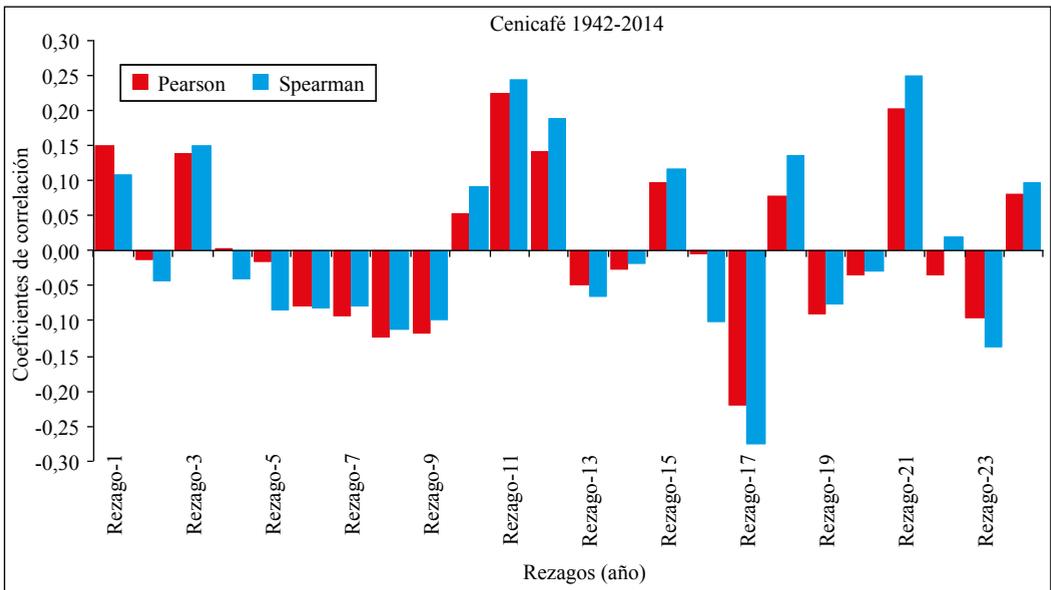


Figura 2. Auto-correlación, serie precipitación anual de la estación climática Cenicafé (24 rezagos).

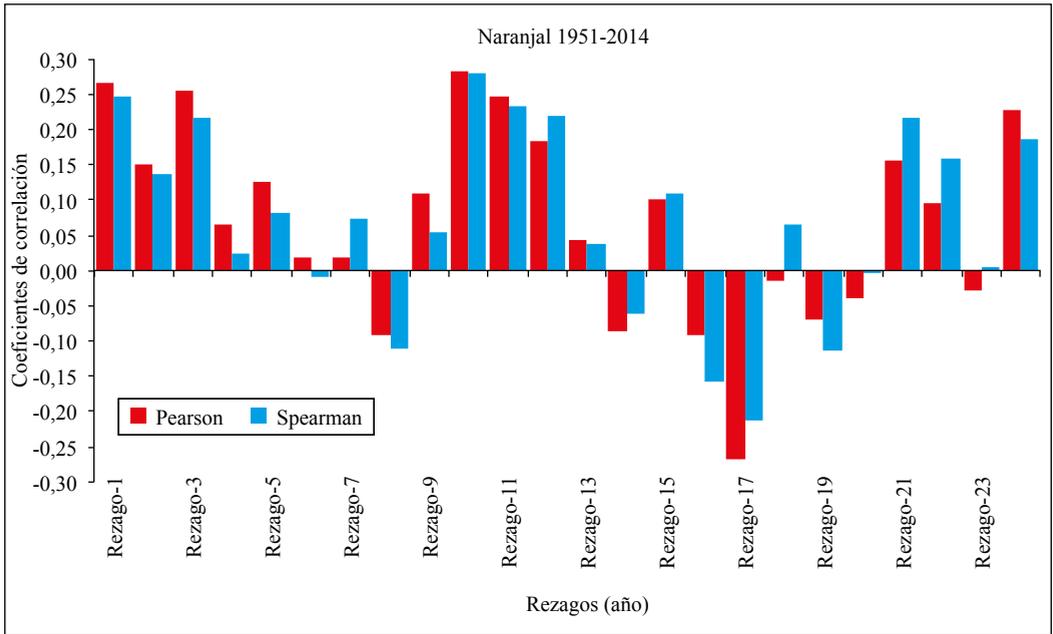


Figura 3. Auto-correlación, serie precipitación anual de la estación climática Naranjal (24 rezagos).

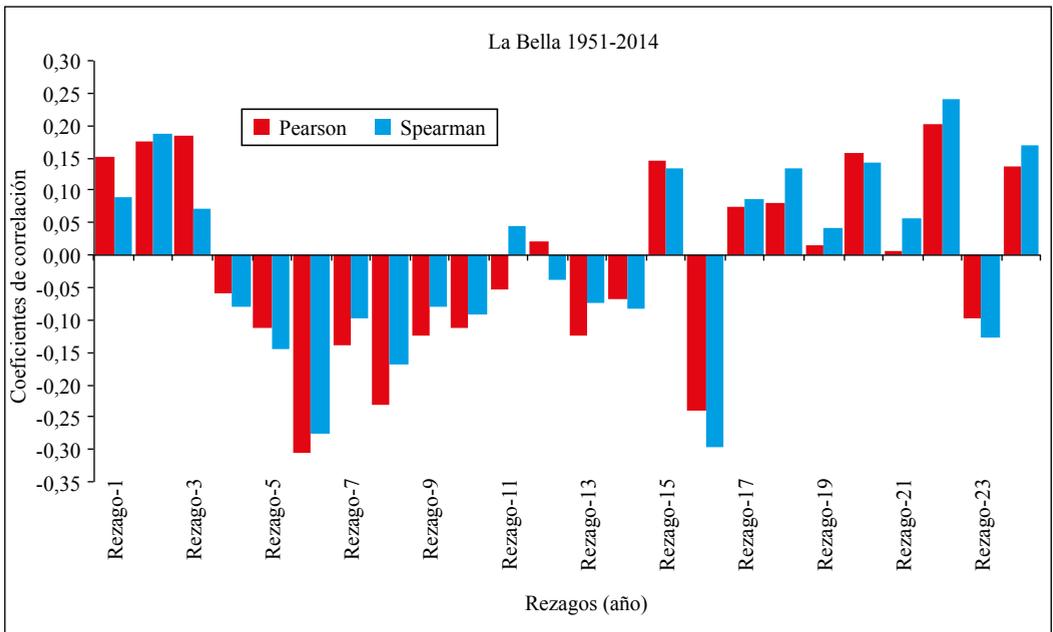


Figura 4. Auto-correlación, serie precipitación anual de la estación climática La Bella (24 rezagos).

hizo uso de la misma técnica descriptiva con las series de precipitación anual de Cenicafé, Naranjal y La Bella, pero sin la suavización de promedios móviles que allí se aplicaron. La Figura 5 muestra el semivariograma de las tres series de precipitación.

Los semivariogramas de las tres series corroboran, *sensu lato*, lo hallado en las auto-correlaciones. Advierte acercamientos notorios en los rezagos 10 y 11 en la serie de Naranjal y en el rezago 22 de la serie de La Bella. Alejamientos notorios en el rezago 6 de la serie de La Bella y en el rezago 17 de Cenicafé, rezagos en la fase inversa del ciclo (Figura 5). El semivariograma es una función de distancia, entre más cercana a cero, mayor es la similitud de la serie con su rezago, valores superiores a uno indican una relación inversa. Resultado que evidencia la existencia de un ciclo de 11 años.

Una técnica matemática para identificar densidades de frecuencias asociadas a períodos de recurrencia es el análisis espectral de una señal digital, las cuales se obtienen mediante la transformada rápida de Fourier. En este estudio se aplicó la técnica a las series de precipitaciones anuales de las estaciones climáticas Cenicafé,

Naranjal, La Bella, el SSN, y la anomalía SST Niño3 (Figuras 6, 7, 8, 9 y 10).

El espectro de frecuencias de Cenicafé privilegia un ciclo de unos 19 años, otro de 2,7 años, y también el ciclo de 11 años. El primer ciclo, posiblemente asociado a la nutación terrestre debida a la atracción gravitacional lunar, cuyo período es de 18,6 años (6).

La densidad espectral de Naranjal muestra cómo el ciclo de mayor relevancia es el de los 11 años. Posee menor intensidad otro ciclo de 3,1 años.

La densidad espectral de La Bella (Figura 8) privilegia, de manera notoria, dos ciclos: el de los 22 años y de los 11 años.

La Figura 9 de la densidad espectral del SSN, advierte, de manera notable, de su ciclo de 11 años.

La densidad espectral de AnomNiño3, Figura 10, privilegia dos ciclos: uno de 3,7 años y otro de unos 5,1 años.

En conclusión, la densidad espectral de las series de precipitación anual regionales, no “heredan” las propiedades de la densidad

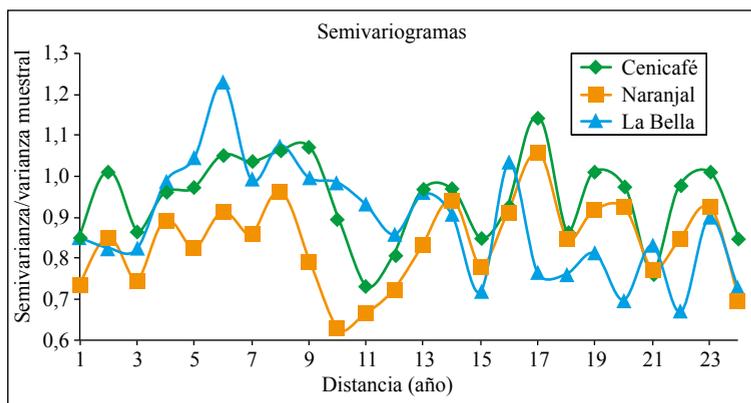


Figura 5. Semivariogramas de precipitación anual de las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella.

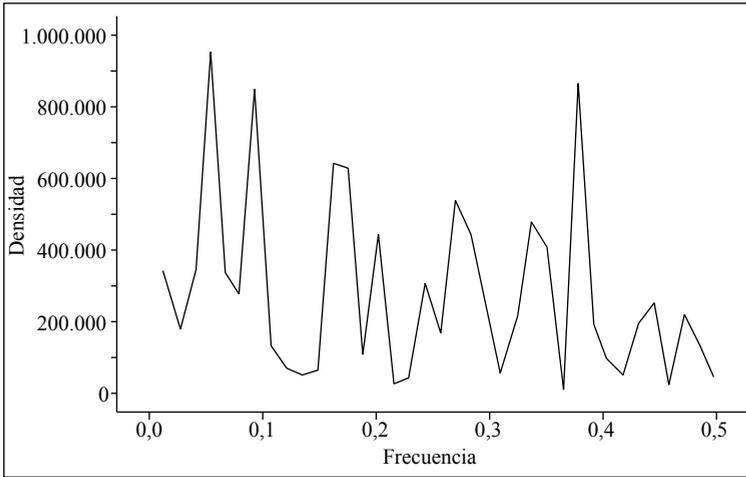


Figura 6. Densidad espectral por frecuencia Panual de la estación climática Cenicafé.

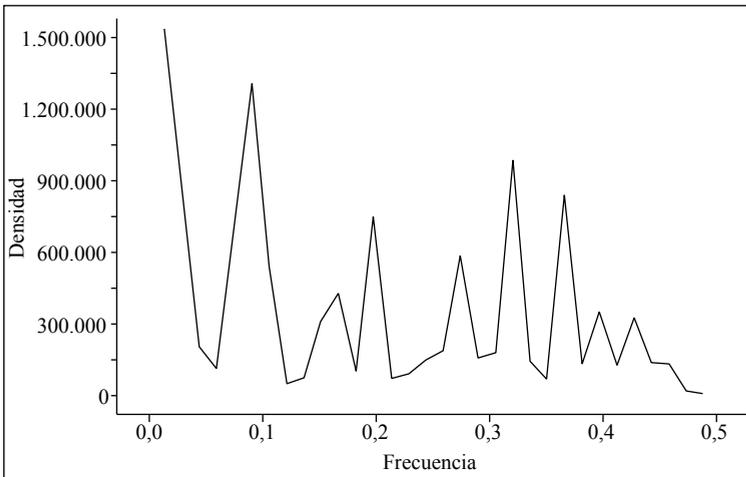


Figura 7. Densidad espectral por frecuencia Panual de la estación climática Naranjal.

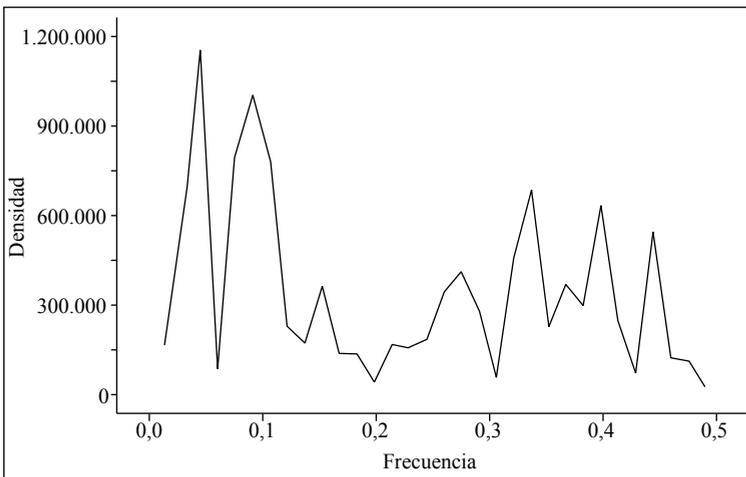


Figura 8. Densidad espectral por frecuencia Panual de la estación climática La Bella.

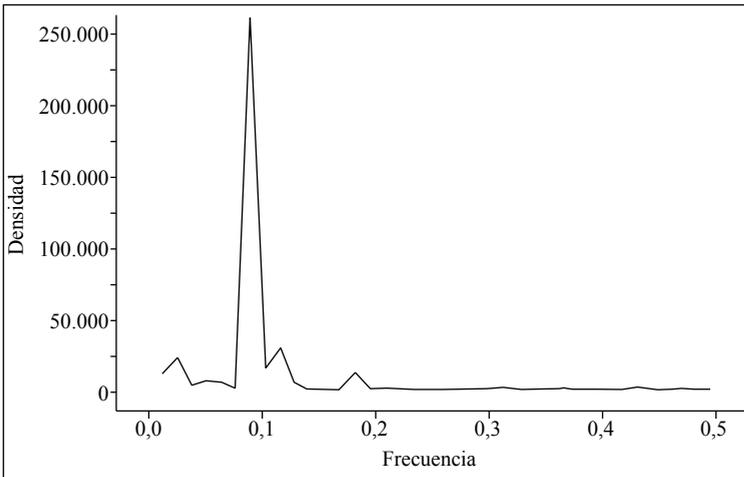


Figura 9. Densidad espectral por frecuencia SSN.

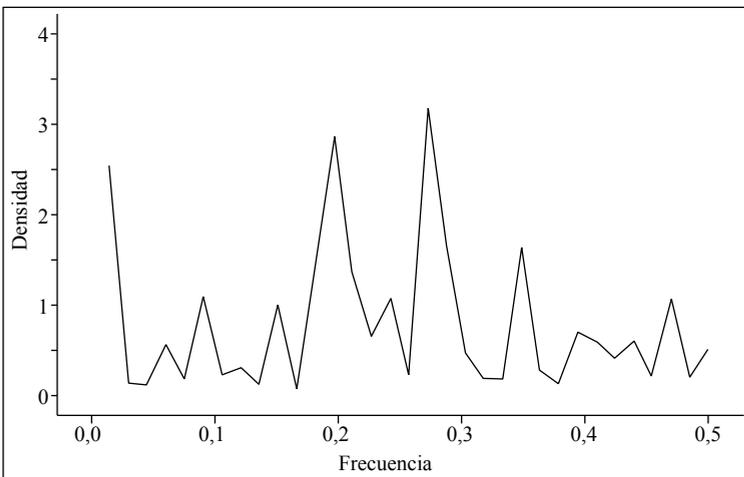


Figura 10. Densidad espectral por frecuencia AnomNiño3.

espectral de AnomNiño3. Las series de las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella, muestran el ciclo de 11 años, coincidente con el ciclo del SSN.

Por último, para corroborar la influencia del ciclo solar en las lluvias aforadas en las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal, La Bella y Miguel Valencia, y cuantificar su efecto, se tomaron dos poblaciones de precipitaciones anuales, considerando la correlación inversa estadísticamente

significativa de las precipitaciones regionales con el SSN y sus dos primeros rezagos:

- a.** P.Solmin: Precipitaciones de los años coincidentes con los mínimos solares y de los dos años subsiguientes (Figura 11).
- b.** P.Solmax: Precipitaciones de los años coincidentes con los máximos solares y de los dos años subsiguientes (Figura 11).

El máximo del año 1957 en la serie SSN se extendió a los años de 1958 y 1959 por

sus valores extremos, los mayores de la serie. De manera similar, el mínimo profundo del año 2007 se extendió a los años 2008 y 2009, los menores valores de la serie.

En la Figura 12, el gráfico de caja y bigotes muestra estadísticos de las dos poblaciones de precipitación anual en Cenicafé (serie con el período de cubrimiento más largo, 73 años): valor mínimo, cuartil inferior, media, mediana, cuartil superior y valor máximo. A esas dos poblaciones: P.Solmin y P.Solmax de precipitaciones anuales de las cuatro series de precipitación: de las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal, La Bella y Miguel Valencia, se les aplicó la prueba

de diferencia de medias. Los resultados se muestran en la Tabla 3, nótese el intervalo del 99% de confianza, estrictamente positivo de la diferencia de medias de las estaciones: Cenicafé, Naranjal y La Bella, es decir, que las poblaciones tienen medias diferentes desde el punto de vista estadístico. No así la estación Miguel Valencia, que al 95% de confianza, las medias de P.Solmin y P.Solmax no difieren.

El promedio de las precipitaciones anuales de Cenicafé coincidentes con los mínimos SSN y dos años subsiguientes, supera en un 15,5%, al promedio de las precipitaciones coincidentes con los máximos SSN y dos

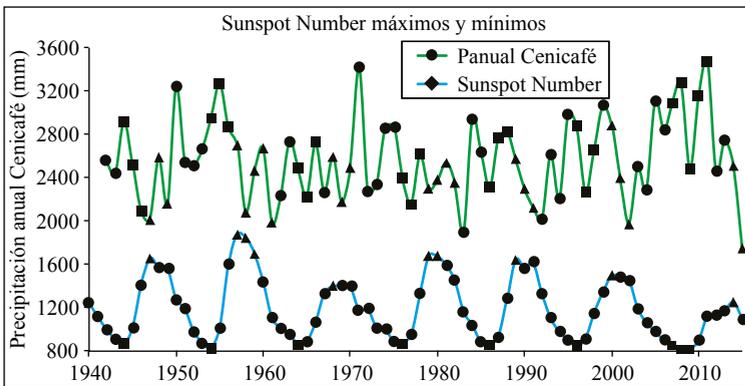


Figura 11. Series de precipitación Cenicafé (arriba) y SSN (abajo) con sus máximos (▲) y mínimos señalados (■).

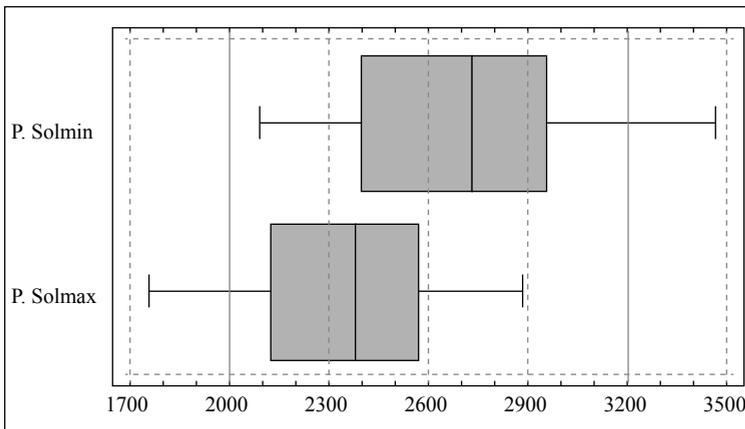


Figura 12. Cenicafé, P.Solmin y P.Solmax gráfico caja y bigotes (mm).

Tabla 3. Prueba de diferencia de medias entre P.Solmin y P.Solmax.

Estaciones	N (año)	Precipitación (mm.año ⁻¹)			Intervalo de confianza del 95%		Intervalo de confianza del 99%		
		Media	Desviación estándar	Media del error estándar	Límite inferior	Límite superior	Límite inferior	Límite superior	
Cenicafé	P.Solmin	23	2.712	385	80	2.546	2.879	2.486	2.938
	P.Solmax	23	2.348	279	58	2.227	2.469	2.184	2.512
	Diferencia de medias		364		99	164	565	96	632
Se concluye que las medias son diferentes al 99% de confianza									
Naranjal	P.Solmin	20	2.974	444	99	2.766	3.182	2.690	3.258
	P.Solmax	20	2.550	332	74	2.394	2.705	2.337	2.762
	Diferencia de medias		424		124	173	676	87	762
Se concluye que las medias son diferentes al 99% de confianza									
La Bella	P.Solmin	20	2.360	495	111	2.128	2.592	2.043	2.677
	P.Solmax	20	1.954	284	63	1.821	2.087	1.773	2.136
	Diferencia de medias		406		128	145	666	55	757
Se concluye que las medias son diferentes al 99% de confianza									
Miguel Valencia	P.Solmin	20	2.238	410	92	2.046	2.430	1.975	2.500
	P.Solmax	18	2.050	224	53	1.939	2.161	1.897	2.203
	Diferencia de medias		188		106	-28	404	-103	479
No se concluye que las medias sean diferentes al 95% de confianza									

años subsiguientes. En Naranjal esa diferencia es del 16,6%, en La Bella 20,8%, en Miguel Valencia apenas es del 9,2%.

Las correlaciones inversas estadísticamente muy significativas del SSN con las precipitaciones anuales en las estaciones de Cenicafé, Naranjal y La Bella, la auto-correlación y el semivariograma de las tres series que evidencian un ciclo decadal; las densidades espectrales de Naranjal y La Bella que muestran de manera clara el ciclo de 11 años; la diferencia de medias con alta significancia estadística entre las precipitaciones en las tres estaciones de los años coincidentes con los mínimos de las manchas solares y los dos años subsiguientes (P.Solmin) y las precipitaciones coincidentes con los máximos y los dos años subsiguientes (P.Solmax),

advierten de una modulación importante de las lluvias regionales por el ciclo solar. Cuando el ciclo SSN está en su mínimo las precipitaciones tienden a ser mayores que cuando el ciclo está en su máximo.

Es notable la coincidencia de la auto-correlación y el semivariograma de las precipitaciones anuales en las estaciones climáticas Cenicafé, Naranjal y La Bella (Figuras 2, 3, 4 y 5). En ellas se aprecian similitudes de las series con sus rezagos de orden decadal o bidecadal, rezagos 10, 11, 21 y 22, alejamientos en la fase inversa del ciclo, rezagos 6, 16 y 17. Hecho que unido al ciclo de 11 años que muestran las densidades espectrales de Naranjal, La Bella y aún de Cenicafé, evidencian un comportamiento cíclico de 11 años en las precipitaciones regionales.

La aparición de otros ciclos en la gráfica de la densidad espectral de las precipitaciones de Cenicafé, además del ciclo de 11 años, puede deberse a la influencia del ENSO, aún mayor que la del SSN, según el valor de las correlaciones y la varianza explicada por el modelo de regresión lineal univariado (Tablas 1 y 2). La densidad espectral de las anomalías SST en Niño3, muestra varios ciclos, los más destacados de 3,1 y 5,7 años, que tampoco se manifiestan en la densidad espectral de las lluvias en Cenicafé. Artículos de la literatura especializada hablan de los límites de los métodos espectrales en la detección de frecuencias de oscilación y proveen ejemplos de series con idénticos periodogramas pero distintas frecuencias de oscilación (15, 23).

Si bien, según los análisis hechos se infiere un efecto del ciclo solar con las lluvias de la región del Eje Cafetero, en la estación Miguel Valencia, la más alejada del conjunto de estaciones, que se encuentra ubicada a unos 75 km en línea recta de la estación Cenicafé, en dirección NNW, el efecto es mínimo. Lo que indica que este acoplamiento posiblemente no se extiende a toda la zona andina colombiana. En China, donde se ha estudiado en profundidad el fenómeno, gracias al largo cubrimiento temporal de sus series pluviométricas y el gran número de ellas, se han detectado zonas con correlación positiva, estadísticamente significativa, entre el SSN y las lluvias, con correlación nula o no significativa y con correlación negativa estadísticamente significativa (24, 25).

¿Qué tanto abarca del territorio colombiano el acoplamiento entre manchas solares y precipitación? Para contestar la pregunta es necesario estudiar series de estaciones pluviométricas ubicadas en otros lugares, pero éstas deben cumplir la condición de tener un período extenso de cubrimiento, al menos 70 años continuos, para cubrir

seis ciclos solares, buena calidad en su información y que su vecindario no haya sufrido modificaciones importantes.

Lo expuesto en este artículo es novedoso para la hidroclimatología colombiana. En la literatura climatológica mundial numerosos trabajos dan cuenta del efecto del ciclo solar en las lluvias. La bibliografía citada evidencia dicho efecto en India (6, 16), Rumania (7), Kenia (10), Argentina (18) y China (24, 25). Estudios basados, la mayoría, en 90 años de registros o más.

Al menos para la hidrología regional del Eje Cafetero, no se sabe si para otras zonas de Colombia, el establecer un acoplamiento del ciclo solar en la variabilidad pluviométrica es de suma importancia, puesto que posibilita construir modelos de pronóstico de largo plazo. Gachari *et al.* (10), proponen un modelo de pronóstico de lluvias con base SSN para Kenia.

Los esfuerzos por aplicar técnicas matemáticas más “robustas”, en la detección de modos de variabilidad en la hidrología colombiana, que los periodogramas de densidad espectral calculados con la transformada rápida de Fourier, tienen gran importancia (5). Pero aquí se ha demostrado que los métodos de la estadística clásica como: correlaciones, auto-correlación, pruebas de diferencia de medias y técnicas descriptivas sencillas como el semivariograma, son capaces de dar cuenta de modos de variabilidad climática, hasta ahora no bien identificados, y de medir su efecto. Ha sido elusiva a la comprensión científica la relación entre la actividad solar y el clima en la Tierra, se hace necesario recurrir a las técnicas matemáticas disponibles para establecer los efectos, cuando los hay, de esa relación en distintos lugares del globo. Parafraseando un adagio popular; “es preciso la combinación de todas las formas de... análisis”.

LITERATURA CITADA

1. BAL, S.; BOSE, M. A climatological study of the relations among solar activity, galactic cosmic ray and precipitation on various regions over the globe. *Journal earth systems science* 119(2):201-209. 2010.
2. BALDWIN, M.; DUNKERTON, T.J. The solar cycle and stratosphere-troposphere dynamical coupling. *Journal of atmospheric and solar terrestrial physics* 67(1/2):71-82. 2012.
3. BRUGNARA, Y.; BRÖNNIMANN, S.; LUTERBACHER J.; ROZANOV, E. Influence of the sunspot cycle on the Northern Hemisphere wintertime circulation from long upper-air data sets. *Atmospheric chemistry and physics* 13:6275-6288. 2013.
4. BURROUGHS, W. *Weather cycles: Real or imaginary?*. Cambridge : Cambridge university press, 2004. 310 p.
5. CARMONA, A.; POVEDA, G. Aplicación de la transformada de Hilbert-Huang en la detección de modos de variabilidad hidroclimática en Colombia. *DYNA* 175: 72-80. 2012.
6. CHATTOPADHYAY, S.; CHATTOPADHYAY G. The possible association between summer monsoon rainfall in India and sunspot numbers. *International journal of remote sensing* 32(3):891-907. 2011.
7. DOBRICA, V.; DEMETRESCU, C.; BORONEANT, C.; MARIS, G. Solar and geomagnetic activity effects on climate at regional and global scales: Case study Romania. *Journal of atmospheric and solar terrestrial physics* 71(17/18):1727-1735. 2009.
8. DORMAN, L.I. Cosmic rays and space weather: Effects on global climate change. *Annales geophysicae* 30:9-19. 2012.
9. FLÓREZ, A. Los glaciares residuales en Colombia. Enfoque geohistórico y situación actual. *Zenit* 3:35-45. 1992.
10. GACHARI, F.; MULATI, D.M.; MUTUKU, J.N., Sunspot numbers: Implications on eastern African rainfall. *South african journal of science* 110(1/2):69-73. 2014.
11. GONZÁLEZ, F.A. *Hidroclimatología del departamento de Caldas. Manizales* : Universidad Nacional de Colombia, 2014. 305 p.
12. GONZÁLEZ, F.A. Regímenes pluviométricos de la región del eje cafetero. *Revista informativa del proyecto SIG PAFC IGAC* 13:31-70. 1997.
13. HAAM, E.; TUNG, K.K. Statistics of solar cycle La Niña connection: Correlation of two autocorrelated time series. *Journal of the atmospheric sciences* 69(10):2934-2939. 2012.
14. HAIGH, J.D. The sun and the earth's climate. *Living reviews in solar physics* 4:1-62. 2007.
15. HERNÁNDEZ, G. Times series, periodograms and significance. *Journal of geophysic* 104(5):10355-10368. 1999.
16. HIREMATH, K.M.; MANJUNATH, H.; SOON, W. Indian summer monsoon rainfall: Dancing with the tunes of the sun. *New astronomy* 35:8-19. 2015.
17. HURTADO, A.F.; MESA, O.J. Reconstrucción de los campos de precipitación mensual en Colombia. *DYNA* 81(186):251-258. 2014.
18. MAUAS, P.J.D.; BUCCINO, A.P.; FLAMENCO, E. Long-term solar activity influences on south american rivers. *Journal of atmospheric and solar terrestrial physics* 73(2):377-382. 2010.
19. MÉNDEZ, A.L. An overview the solar activity and climate changes. *Revista cubana de física* 28(2):123-127. 2011.
20. PEÑA, A.J.; JARAMILLO, A.; PATERNINA, M.J. Detecting low frequency cycles in rainfall series from colombian coffee-growing area by using descriptive methods. *Earth sciences research journal meteorology* 15(2):109-114. 2011.
21. PEÑA, A.J.; PATERNINA, M.J. Señales de variabilidad y cambio en algunas series anuales de precipitación de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 61(2):173-185. 2010.
22. POVEDA, G. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala inter-decadal hasta la escala diurna. *Academia colombiana ciencias* 28(107):201-222. 2004.
23. ROSSEBERG, A.G. On the limits of spectral methods for frequency estimation. *International journal of bifurcation and chaos* 14(6):2115-2123. 2004.
24. ZHAO, L.; WANG, J.; ZHAO, H. Solar cycle signature in decadal variability of monsoon precipitation in China. *Journal of the meteorological society of japan* 90(1):1-9. 2012.
25. ZHAO, L.; WANG, J. Robust response of the east asian monsoon rainband to solar variability. *Journal of climate american meteorology society* 27(8):3043-3051. 2014.

ESTIMACIÓN DEL ÁREA FOLIAR EN CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® A LIBRE EXPOSICIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN

Esther Cecilia Montoya Restrepo*; Juan David Hernández Arredondo**;
Carlos Andrés Unigarro Muñoz***; Claudia Patricia Flórez Ramos****

MONTOYA R., E.C.; HERNÁNDEZ A., J.D.; UNIGARRO M., C.A.; FLÓREZ R., C.P. Estimación del área foliar en café variedad Castillo® a libre exposición y su relación con la producción. Revista Cenicafé 68 (1): 55-61. 2017

Los modelos que describen relaciones alométricas, basados en el conteo de hojas, son métodos no destructivos, fáciles y económicos para estimar el área foliar en árboles. Con este propósito se realizaron mediciones del área foliar, censando las hojas en varios árboles de café Variedad Castillo® (*Coffea arabica* L.) de diferentes edades, estableciendo y validando la relación entre el área foliar de la rama y el número de hojas en ella, a través de una regresión lineal simple, con coeficientes de regresión diferentes de cero, según prueba de *t*, al 5%. Posteriormente, se evaluó la estimación del área foliar a nivel de árbol con respecto a los valores observados. Además, con la información registrada se determinó el número de ramas por árbol en las cuales deben contarse el número de hojas, para estimar el área foliar del árbol, con un error menor del 20%, y se estableció una primera relación entre el área foliar y la producción en café cereza verde, con un coeficiente de determinación del 78,3%.

Palabras clave: *Coffea arabica* L., relaciones alométricas, hoja, regresión lineal.

ESTIMATION OF FOLIAR AREA IN THE CASTILLO® VARIETY WITH FREE EXPOSURE AND ITS RELATION TO PRODUCTION

The models that describe allometric relationships, based on leaf counts, are non-destructive, easy and economical methods to estimate leaf area in trees. Measurements of leaf area were made by registering the number of leaves in several Castillo® variety (*Coffea arabica* L.) coffee trees of different ages. The relation between the leaf area of the branch and the number of leaves in it was established and validated through a simple linear regression, with regression coefficients different from zero, according to *t* test, at 5%. Subsequently, the estimation of the leaf area at tree level was evaluated with respect to the observed values. In addition, using the information recorded, the number of branches per tree in which the number of leaves should be counted was determined in order to estimate the leaf area of the tree, with an error of less than 20%, and a first relation between the leaf area and the production in green cherry coffee was established, with a determination coefficient of 78.3%.

Keywords: *Coffea arabica* L., allometric relations, leaf, linear regression.

* Investigador Científico III. Disciplina de Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

** Coordinador de Innovación Regional. C.I. el Nus. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). San José del Nus, Antioquia.

*** Asistente de Investigación, Disciplina de Fisiología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**** Investigador Científico II, Disciplina de Mejoramiento Genético. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

En estudios previos, se ha comprobado que el área foliar (AF) es una variable relacionada directa o indirectamente con los procesos de crecimiento vegetativo, tasa de desarrollo, eficiencia fotosintética, evapotranspiración, uso de nutrientes y agua (6, 16, 17, 30). En el proceso de producción de la planta, la superficie foliar disponible está relacionada con la asimilación del carbono durante su ciclo de vida (2). De acuerdo con Watson (29), es posible expresar por unidad de superficie tanto el rendimiento agrícola como el AF, hecho que hace de esta variable un indicador de la productividad (15). En el cultivo del café las etapas fenológicas, la variedad, el autosombreamiento de las hojas, las técnicas de manejo y la disponibilidad de los recursos ambientales, están relacionados con las variaciones en la dinámica del AF y del número de hojas a través del tiempo (7, 9, 23, 24). Es así como el AF se convierte en un componente importante para la modelación de cultivos (19).

En este contexto, la medición del AF y el conocimiento de su variación temporal en cultivos perennes, es útil para la evaluación técnica de prácticas culturales como podas, fertilización, irrigación y aplicación de productos químicos (15). Las metodologías para medir directamente el AF, particularmente en árboles, son demandantes en tiempo y pueden ser o no destructivas (4, 18). En el primer caso, la escisión de las hojas es necesaria y su medición se realiza por métodos tradicionales como la copia de ésta a papel milimetrado, por fotografía o mediante el uso de un planímetro (14). No obstante, su mayor limitante es la imposibilidad de realizar medidas sucesivas en el tiempo sobre la misma hoja (10, 14). En ciertos casos, por la cantidad de hojas requerida para evaluar, la medición del área superficial resulta costosa tanto en la

inversión del tiempo como en recursos (1). Por su parte, los métodos no destructivos, como el uso de un escáner planímetro portable, son rápidos y precisos (13), pero sólo sustentables para plantas con pocas hojas (21). La estimación fácil, recurrente, económica y precisa del AF es un tema ampliamente discutido (4, 23).

Existen varios modelos para describir las relaciones alométricas, con el fin de estimar la superficie de hojas de café, en función del largo de la nervadura central de la hoja y/o su ancho (1, 3, 5, 22, 25, 28). La principal limitante para esta estimación, es el tiempo requerido para registrar el largo y/o el ancho de cada hoja, dependiendo de la edad de la planta (15). Taugourdeau *et al.* (26), estimaron el área foliar de una planta de café (*C. arabica* L.), multiplicando el número de hojas por el promedio de área foliar evaluado en cada 20ª hoja medida. En árboles de cerezo, Cittadini *et al.* (12), realizaron un proceso similar al contar el total de hojas de la planta y luego multiplicar este valor por el área media de la hoja, la cual se obtuvo a partir de un muestreo del 1% de las hojas contadas por planta, usando la ecuación de Cittadini y Peri (11).

Con el propósito de disponer de una metodología no destructiva, eficiente en términos de costos y de corta duración en la medición, se desarrolló esta investigación con el objetivo de estimar el AF a nivel de árbol, en función del número de hojas presentes en las ramas de café Variedad Castillo® a plena exposición solar. Así mismo, se exploró la relación entre el área foliar y la producción de café cereza y se determinó el número de ramas por árbol, en la cuales debe contarse el número de hojas, para estimar el área foliar del árbol, con un error menor del 20%.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Estación Experimental La Catalina de Cenicafé, ubicada en el municipio de Pereira, departamento de Risaralda - Colombia (4° 44' 36,77"N y 75° 44' 10,91"O) y altitud de 1.331 m.

En lotes de diferentes edades (Tabla 1), se seleccionaron diez árboles (Grupo 1) de café Variedad Castillo® general y Naranjal (*Coffea arabica* L.), en los cuales se contaron y recolectaron las hojas presentes en cada una de las ramas. No se tuvieron en cuenta aquellas ramas sin hojas. A cada hoja recolectada se le midió el área foliar, con un medidor de superficies LI-3300 (LICOR®, Lincoln, Nebraska) y se catalogaron por rama. Como variables de interés se tuvo el número de hojas por rama (NHR) y área foliar observada por rama (AFO).

Con las variables de interés, se obtuvo una expresión para estimar el área foliar (AFE), en función del NHR. Luego, se estimó el coeficiente de regresión lineal para identificar el tipo de relación entre el área foliar observada (AFO) y la estimada (AFE), es decir, para validar si la expresión para determinar AF de la rama en función del número de hojas presentes en ella, sobrestima, subestima o hay una estimación uno a uno con los valores observados de área foliar. La validación consistió en corroborar que el coeficiente de determinación fuera mayor

del 90% y que el coeficiente de regresión fuera igual a uno, mayor a uno o menor que uno, según el estadístico de prueba *t*, al 5%.

Posteriormente, en otros cuatro árboles de lotes independientes (Grupo 2), se tomó la información de las áreas foliares en cada una de las hojas de cada rama (AFO), así como el NHR. Con el NHR se procedió a determinar el AFE mediante la expresión validada, con el fin de verificar si el AFO se encontraba en el intervalo del AFE.

Una vez obtenida y validada la expresión para estimar el área foliar en función del número de hojas en la rama, se determinó bajo la estructura del muestreo sistemático, el número de ramas por árbol para estimar el área foliar de un árbol, con un error menor del 20%.

En la segunda semana del mes de julio de 2015, en la cual estaban formados los frutos que responderían por la producción del segundo semestre del 2015, se seleccionaron 91 árboles de diferentes edades y densidades, en diferentes Estaciones Experimentales de Cenicafé (Tabla 2). A cada uno de los árboles y por cada rama se les registró el número de hojas (NHR) y se retiraron y pesaron todos los frutos (café cereza verde). Con la información del NHR se determinó el AF de cada rama y para cada árbol se obtuvo el área foliar total, como el acumulado de las áreas de las ramas,

Tabla 1. Descripción de los lotes donde se seleccionaron los árboles de café para la toma de información del grupo 1.

Lote	Variedad	Densidad (Sitios/ha)	Tallos/sitio	Fecha de siembra	Edad a muestreo
El Rancho	Castillo® General	5.000	2	02/02/2012	2,9
Lote 91 - 1	Castillo® General	5.000	2	15/05/2009	5,6
Cedros	Castillo® General	4.000	1	15/04/2010	4,7
El Fuede	Castillo® Naranjal	5.000	2	07/05/2012	2,6

y a través de un modelo de regresión simple, se estableció la relación entre la producción de café cereza verde y el área foliar estimada.

Tabla 2. Número de lotes y número total de árboles de café evaluados en cada estación.

Estación	Número de lotes	Número de árboles
El Rosario	5	28
La Catalina	4	17
La Trinidad	2	4
Naranjal	6	21
Paraguaicito	1	2
Pueblo Bello	1	2
El Tambo	4	16

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El número de hojas en la rama (NHR) explica el área foliar de la misma (AFE), en un 82% (coeficiente de determinación), bajo la Expresión lineal <1>, con intercepto y coeficiente de regresión diferentes de cero, según estadístico de prueba *t*, al 5%.

$$AFE (cm^2) = -106,57 + 51,45811 \times NHR <1>$$

La relación lineal entre valores del área foliar observada de la rama (AFO) y el área foliar estimada (AFE), mostró un intercepto igual a cero y un coeficiente de regresión igual a uno estadísticamente, según la prueba de *t* al 5%, con un

coeficiente de determinación del 82%. Al ser el intercepto igual a cero, se estimó el coeficiente de regresión pasando por el origen, lo cual mostró una estimación de 0,99999 y un coeficiente de determinación del 96,4%. Este resultado indica que la expresión para estimar el área foliar de la rama, en función del número de hojas en ella, ni sobrestima ni subestima el valor observado.

En la Tabla 3, se ilustra para cada uno de los árboles evaluados en el Grupo 2, el número de ramas con hojas, el promedio del AFO con su respectivo error estándar y el NHR con su medida de variación. El promedio del AFO por rama osciló entre 450,1 y 576,2 cm², con un promedio de número de hojas 12,3 y 12,4 hojas, respectivamente.

En la Tabla 4, se ilustra el área foliar observada y el área foliar estimada para cuatro árboles, con su respectivo intervalo, para un coeficiente de confianza del 95%. En todos los árboles el valor observado se encuentra en el intervalo de la estimación.

Para estimar el área foliar de un árbol, debe tomarse al menos el 43,7% de sus ramas y contar el número de hojas en cada una de ellas. Con este tamaño de muestra se asegura un error de estimación del área foliar del árbol máximo del 20%, con una probabilidad del 95%.

Tabla 3. Promedios del área foliar y número de hojas por rama, con su respectivo error estándar (E.E.), en cada uno de los árboles de café evaluados.

Árbol	Número de ramas	Área foliar por rama (AFO)		Número de hojas por rama (NHR)	
		Promedio (cm ²)	E.E.	Promedio (No.)	E.E.
1	18	567,2	51,1	13,2	0,8
2	18	450,1	76,6	12,3	1,5
3	17	541,9	72,3	12,2	1,3
4	23	576,2	51,1	12,4	0,7

Tabla 4. Área foliar estimada y observada por árbol de café, en cm².

Árbol	Área foliar estimada del árbol (AFEA)			Área foliar observada del árbol (AFEA)
	Estimación	LI	LS	
1	10.701,8	8.473,3	12.930,4	10.208,9
2	11.975,4	7.309,5	16.641,3	8.263,8
3	9.560,5	6.617,7	12.503,3	9.212,8
4	12.579,8	10.423,8	14.735,8	13.254,3

LI y LS: Límite inferior y superior, respectivamente, para el intervalo, con un coeficiente de confianza del 95%.

La relación entre la producción de café cereza verde y el área foliar estimada del árbol (la suma de las áreas estimadas de las ramas), indica que por cada 100 cm² de AF la producción en el árbol se incrementa en 2,37 g de café cereza verde, de acuerdo con la Expresión <2>. En ésta, se explica la producción de café cereza verde por árbol en un 78,3%, con un coeficiente de regresión diferente de cero, según la prueba *t*, al 5%.

Producción de café cereza verde del árbol
(g) = 0,0237 * AFEA (cm²) <2>

Donde, AFEA: Área foliar estimada del árbol.

Esta asociación es una primera exploración, sólo válida para el momento en el cual se tomó la información (segundo semestre del 2015) y requiere de una posterior validación. Pocos estudios tratan la relación entre el área foliar y la producción por árbol. Cannell (8), en Kenia reportó que un área foliar mínima de 2.000 mm² es necesaria para completar el desarrollo de un fruto de buena calidad. Según Vaast *et al.* (27), no encontraron algún incremento en el tamaño de granos con tasas de área foliar por fruto sobre los 2.000 mm². De acuerdo con Mejía *et al.* (20), el genotipo CU1812 componente de la Variedad Castillo®, se destacó del resto de materiales por presentar mayor AF, lo cual le permitió obtener mayores valores de interceptación de radiación fotosintéticamente activa (RFA) y producción de café cereza.

En conclusión, mediante la expresión $AFE = -106,57 + 51,45811 \times NHR$ logró determinarse el AF en una rama, con un coeficiente de determinación del 82%. Para determinar el área foliar del árbol, con un error de estimación máximo del 20% y una probabilidad del 95% que ello ocurra, se requiere seleccionar y evaluar el 43,7% de las ramas con hojas. Así mismo, en una primera aproximación, por cada 100 cm² de AF, la producción en el árbol se incrementa en 2,37 g de café cereza verde.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Claudia Patricia Valencia Vera, Marcela Mora Agudelo, Mario Franco Arcila, personal técnico de Cenicafé por su valiosa colaboración. A los Coordinadores de las Estaciones Experimentales de Cenicafé, donde fue tomada la información. A Rubén Darío Medina y Carlos Oliveros, por la revisión y aportes en la elaboración de este artículo.

LITERATURA CITADA

1. ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; DAMATTA, F.M. Allometric model for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). *Annals of applied biology* 153(1):33-40. 2008.
2. ARCILA P, J.; CHAVEZ, B. Desarrollo foliar del café en tres densidades de siembra. *Cenicafé* 46(1):5-20. 1995.

3. AWANTRAMANI, D.A.; GOPALAKRISHNA, H.K. Measurement of leaf area (*Coffea arabica* L.). Indian coffee 29:61-64. 1965.
4. BARBOSAL, J.P.R.A.D.; MARTINS, G.A.; FERREIRA, R.T.; PENNACCHI, J.P.; SOUZA, V.F.; SOARES, A.S. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. Coffee science 7(3):267-274. 2012.
5. BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA F., L.J. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon amarelo'). Ceres 20(107):44-52. 1973.
6. BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Scientia agricola 62(4):305-309. 2005.
7. CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Bragantia 60(1):65-68. 2001.
8. CANNELL M.G. Physiology of the coffee crop. p.108-134. En: CLIFFORD, M.N.; WILLSON K.C. Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage. London : Crom Helm, 1985.
9. CÉSAR, F.R.C.F.; MATSUMOTO, S.N.; VIANA, A.E.S.; SANTOS, M.A.F.; BONFIM, J.A. Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. Coffee science 5(3):262-271. 2010.
10. CHIRINOS, D.T.; CHIRINOS T., L.; GERAUD P., F.; CASTEJÓN, O.; FERNÁNDEZ, R.E.; VERGARA, J.A.; MÁRMOL, L.E.; CHIRINOS T., D. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. Revista de la facultad de agronomía Universidad del Zulia 14:163-171. 1997.
11. CITTADINI, E.D.; PERI, P.L. Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. RIA 35(1):143-150. 2006.
12. CITTADINI, E.D.; KEULEN, H. VAN; PERI, P.L.; RIDDER, N. Designing a "target-tree" for maximizing gross value of product in Patagonian sweet cherry orchards. International journal of fruit science 6(3):3-22. 2006.
13. DAUGHTRY, C. Direct measurements of canopy structure. Remote sensing reviews 5(1):45-60. 1990.
14. FALLOVO, C.; CRISTOFORI, V.; MENDOZA, E.; RIVERA, C.M.; REA, R.; FANASCA, S. Leaf area estimation model for small fruits from linear measurements. HortScience 43(7):2267-2267. 2008.
15. FAVARIN, J.L.; NETO, D.D.; GARCÍA, A.G.; VILLA N., N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. Pesquisa agropecuária brasileira 37(6):769-773. 2002.
16. GOUDRIAAN, J.; LAAR, H.H. VAN. Modeling potential crop growth processes. Dordrecht : Kluwer academic publishers, 1994. 238 p.
17. HERBERT, T.J. A simple model of canopy photosynthesis. [En línea]. Miami : University of Miami. College of arts and sciences, 2004. Disponible en internet: http://www.bio.miami.edu/tom/bil160/bil160goods/plantform/13b_plantform.html. Consultado en marzo de 2015.
18. ILKAE, M.N.; PAKNEJAD, F.; ZAVAREH, M.; ARDAKANI, M.R.; KASHANI, A. Prediction model of leaf area in soybean (*Glycine max* L.). American journal of agricultural and biological sciences 6(1):110-113. 2011.
19. LIZASO, J.I.; BATCHELOR, W.D.; WESTGATE, M.E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. Field crops research 80(1):1-17. 2003.
20. MEJÍA, J.W.; CARTAGENA, J.R.; RIAÑO, N.M. Morphometric and productive characterization of nineteen genotypes from the colombian coffee collection. Revista facultad nacional de agronomía 66(2):7021-7034. 2013.
21. NYAKWENDE, E.; PAULL, C.J.; ATHERTON, J.G. Non-destructive determination of leaf area in tomato plants using image processing. Horticultural science 72(2):225-262. 1997.
22. ORDÓÑEZ, M.; PADILLA R., M.R.; PINEDA, J.A. Determinación del área foliar en cinco cultivares de café (*Coffea arabica*) mediante modelos de regresión. San José de Costa Rica : IICA: PROMECAFE, 2000.
23. PANDEY, S.K.; SINGH, H. A simple, cost-effective method for leaf area estimation. Journal of botany. 2011:1-6. 2011.
24. RAKOCEVIC, M.; ANDROCIO LIF, A. Características morfofisiológicas de *Coffea arabica* L. em diferentes arranjos: Lições de abordagem de plantas virtuais tridimensionais. Coffee science 5(2):154-166. 2011.

25. REY, R.; ÁLVAREZ, P. Evaluación de diferentes ecuaciones de regresión en la estimación del área foliar del café en vivero a partir de sus medidas lineales. *Agrotecnia de Cuba* 23:69–74. 1991.
26. TAUGOURDEAU, S.; LE MAIRE, G.; AVELINOD, J.; JONESE, J.R.; RAMIREZI, L.G.; JARA Q., M.; CHARBONNIERA, F.; GÓMEZ D., F.; HARMANDA, J.M.; RAPIDELJ, B.; VAASTA, P.; ROUPSARDA, O. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: An application for coffee agroforestry. *Agriculture, ecosystems and environment* 192:19-37. 2014.
27. VAAST, P.; GÉNARD, M.; DAUZAT, J. Modeling the effects of fruit load, shade and plant water status on coffee berry growth and carbon partitioning at the branch level. *Acta horticulturae* 584:57-62. 2002.
28. VALENCIA, A. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del café. *Cenicafé* 24(4):79-89. 1973.
29. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Advances in agronomy* 4:101-144. 1952.
30. WILLIAMS, L.; MARTINSON, T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia horticulturae* 98:493-498. 2003.

RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS EN *Coffea arabica* L.

Carlos Andrés Unigarro Muñoz*, Rubén Darío Medina Rivera**, Claudia Patricia Flórez Ramos**

UNIGARRO M., C.A.; MEDINAR., R.D.; FLÓREZ R., C.P. Relación entre producción y las características fenotípicas en *Coffea arabica* L. Revista Cenicafé 68 (1): 62-72. 2017

En cultivos perennes, como café, desarrollar una variedad comercial requiere de 20 a 25 años, motivo por el cual, el estudio de las relaciones entre producción y las características fenotípicas facilita los procesos de selección y avance generacional dentro del programa de mejoramiento genético. La correlación existente entre dos variables no implica necesariamente una relación causal, porque su efecto puede ser indirecto al depender de otras variables. La causalidad puede evaluarse mediante el análisis de sendero, al determinar los efectos de una correlación. En el presente estudio se determinó la relación y el efecto de algunas características fenotípicas con la producción de café cereza, durante el primer período productivo del cultivo. En la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé (Chinchiná-Caldas-Colombia), se evaluó la asociación entre siete características fenotípicas y la producción de café cereza en 18 genotipos *C. arabica*. Las relaciones se analizaron mediante correlaciones genéticas, mientras que los efectos directos e indirectos se determinaron con el análisis de sendero. Los resultados mostraron que la cantidad de flores y el área foliar tienen una asociación directa y alta con la producción de café cereza por árbol, la cual se corroboró al evaluar los efectos directos con el análisis de sendero. La altura presentó una relación inversa y baja con la producción, con efecto directo. El número de nudos con flores y el peso promedio de un fruto presentaron un efecto indirecto sobre la producción. Estos resultados validan observaciones previas y confirman la importancia del área foliar como componente de producción.

Palabras clave: Café, área foliar, flores, correlación, análisis de sendero.

RELATION BETWEEN PRODUCTION AND PHENOTYPICAL CHARACTERISTICS IN *Coffea arabica* L.

In perennial crops, such as coffee, the development of a commercial variety requires 20 to 25 years, which is why, the study of the relations between production and phenotypic characteristics facilitates selection processes and generational progress within the genetic improvement program. The correlation between two variables does not necessarily imply a causal relation because its effect may be indirect depending on other variables. Causality can be assessed using path analysis by determining the effects of a correlation. In this study, the relation and effect of some phenotypic characteristics with the production of cherry coffee during the first productive period of the crop was determined. The association between seven phenotypic characteristics and the production of cherry coffee in 18 *C. arabica* genotypes was evaluated at the Naranjal Experiment Station of Cenicafé (Chinchiná-Caldas, Colombia). The relations were analyzed by genetic correlations, while the direct and indirect effects were determined using path analysis. The results showed that the number of flowers and the leaf area had a direct and high association with the production of cherry coffee per tree, which was corroborated by evaluating the direct effects using path analysis. The height had an inverse and low relation with production, with direct effect. The number of nodes with flowers and the average weight of a cherry had an indirect effect on production. These results validate previous observations and confirm the importance of leaf area as a production component.

Keywords: Coffee, leaf area, flowers, correlation, path analysis.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Fisiología Vegetal. Cenicafé

** Investigador Científico II y III. Disciplina de Biometría y Mejoramiento Genético, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

El desarrollo de variedades comerciales de café en Colombia se enfoca en la obtención de materiales altamente productivos, resistentes a la roya y con altos estándares de calidad física del grano y sensorial de la bebida (1, 40, 42). En cultivos perennes, como el cafeto, el desarrollo de una variedad con estas características toma de 20 a 25 años, motivo por el cual, el estudio de las relaciones entre la producción y las características fenotípicas resulta útil para facilitar los procesos de selección y avance generacional dentro del programa de mejoramiento genético (27). Arcila (2), señala que las variables número de ramas, área de proyección de la copa, índice de ocupación, interceptación de radiación y altura del árbol son componentes de la productividad del café. De acuerdo con Carvalho *et al.* (10), las características que presentan mayor correlación fenotípica con la productividad son el diámetro del tallo, el número de ramas plagiotrópicas, la altura de la planta y el largo de las ramas plagiotrópicas. Para dilucidar las relaciones entre la producción y los caracteres fenotípicos, fisiológicos y agronómicos de *Coffea arabica* L., previamente se han utilizado las correlaciones genéticas y fenotípicas, así como el análisis de los coeficientes de sendero (6, 10, 13, 21, 28, 40, 41, 43).

La correlación mide la asociación lineal entre dos variables (26). En este contexto, la correlación fenotípica estima directamente los valores medios fenotípicos, los cuales son el resultado de las causas genéticas y ambientales. En cambio, la correlación genotípica entre dos características se explica a través de dos tipos de interacción genética: pleiotropía y ligamiento (11, 45). A pesar de su importancia, los coeficientes de correlación (cualquiera que sea su naturaleza) no indican necesariamente relaciones de causa y efecto entre dos variables. Esto puede traer como consecuencia, una equivocada interpretación

directa de sus magnitudes, puesto que una alta correlación entre dos caracteres puede ser resultado directo de una tercera variable o de un grupo de éstas (45, 51).

Wright (51) desarrolló el análisis de sendero como método estadístico para evaluar los efectos directos e indirectos de los caracteres sobre una variable principal o básica. Este tipo de análisis busca discernir las vías de influencia en un conjunto de variables, con el fin de establecer cuando una correlación implica causalidad (16, 51). Los coeficientes de sendero son obtenidos por medio de ecuaciones de regresión, en las que las variables son previamente estandarizadas (14); esto con el fin de identificar, dentro de las características de alta correlación con la variable básica (que para este caso es la producción), aquellas de mayor efecto directo en sentido favorable a la selección de la variable básica (40). Aunque la correlación sea una característica intrínseca a dos caracteres bajo una condición experimental, su descomposición depende del conjunto de caracteres estudiados, que normalmente son evaluados por el conocimiento previo de su importancia y de posibles interrelaciones expresadas en el análisis de sendero (14). La finalidad del análisis es determinar relaciones causales y no causales de correlaciones observadas.

En concordancia, el objetivo del presente estudio fue determinar la relación y el efecto de algunas características fenotípicas sobre la producción de café cereza, en diferentes genotipos de *C. arabica* L. durante el primer período de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé, ubicada en el municipio de Chinchiná, departamento

de Caldas – Colombia (04°58' N - 75°39' O), con una altitud de 1.381 m, promedio de precipitación anual de 2.795 mm, temperatura media anual de 20,9°C y humedad relativa de 76,9% (19). Las evaluaciones se realizaron sobre 18 genotipos de *C. arabica* de la Colección Colombiana de Café. Se incluyeron materiales catalogados como diversos genéticamente (12, 31), así como algunas líneas avanzadas del Programa de Mejoramiento de Cenicafé (Tabla 1). Se establecieron dos lotes experimentales de acuerdo con el porte de las plantas (Lote 1: porte alto y Lote 2: porte bajo). En cada lote, se evaluaron 15 unidades experimentales (árboles) por genotipo, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado. De acuerdo con el porte de los genotipos en el Lote 1 la distancia de siembra fue de 2 m entre surcos y 2 m entre plantas, mientras que en el Lote 2 la distancia fue de 2 m entre surcos y 1 m entre plantas.

Las características fenotípicas evaluadas fueron: 1. Número de nudos con flores en las ramas plagiotrópicas; 2. Número de flores en las ramas plagiotrópicas; 3. Promedio del peso de un fruto (g); 4. Área foliar (m²); 5. Altura del árbol (cm); 6. Número de nudos ortotrópicos en el tallo o cruces; 7. Diámetro del tallo a 5 cm del suelo (cm); 8. Producción de

café cereza por árbol (kg). Estas variables se registraron cada 45 días, para cada unidad experimental (árbol), entre los 2,5 y 3,5 años de edad (primer período de cosecha). La variable número de flores se registró de acuerdo con la metodología establecida por Rendón *et al.* (37). El área foliar por hoja se estimó con base en la medición de su nervadura central mediante el modelo alométrico (Ecuación <1>) de Valencia (44). Para estimar el área foliar del árbol se acumularon los datos de todas las hojas presentes en la cuarta parte de las ramas presentes en el árbol y se multiplicó por cuatro.

$$\text{Área foliar (cm}^2\text{)} = 0,563983 \times \text{Longitud nervadura (cm)}^{2,02501} <1>$$

La producción de café cereza correspondió a la primera cosecha principal del ciclo productivo del cafetal. La relación entre todas las características evaluadas se analizó mediante los coeficientes de correlación genética (r_g) usando las fórmulas descritas por Falconer (17) en la Ecuación <2>, debido a que con las correlaciones de Pearson se incluyen factores tanto de naturaleza genética como ambiental (47). Con valores entre -1,00 y +1,00 el coeficiente indica el grado de relación

Tabla 1. Porte y origen de los genotipos de *C. arabica* evaluados.

Porte	Alto		Bajo		
	Origen	Etiopía	Yemen	Brasil	Colombia
Genotipo		E143	Típica	Caturra Rojo	ACL137
		E177			ACL221
		E403			ACL403
		E405			BH1247
		E577			CU1812
		ET26			CU1850
		ET42			CX2848
		ET56			NR287

lineal entre dos variables, mientras que el signo indica si la relación es directa al ser positivo o inversa la ser negativo. La magnitud del coeficiente de correlación se interpretó mediante el criterio de Hinkle *et al.* (23) (Tabla 2).

$$r_{g12} = \sigma_{g12} / \sqrt{(\sigma_{g1}) (\sigma_{ph2})} \quad <2>$$

Dónde: σ_{g12} corresponde a la covarianza genética de las dos variables, σ_{g1} es la varianza genética de la primera variable y σ_{g2} es la varianza genética de la segunda variable.

Tabla 2. Criterios para evaluar el coeficiente de correlación de acuerdo con Hinkle *et al.* (23).

Tamaño de la correlación	Interpretación
0,90 a 1,00 (-0,90 a -1,00)	Correlación positiva (negativa) muy alta
0,70 a 0,90 (-0,70 a -0,90)	Correlación positiva (negativa) alta
0,50 a 0,70 (-0,50 a -0,70)	Correlación positiva (negativa) moderada
0,30 a 0,50 (-0,30 a -0,50)	Correlación positiva (negativa) baja
0,00 a 0,30 (0,00 a -0,30)	Poca si existe la correlación o no lineal

En la presente investigación la producción de café cereza fue la variable básica, sobre la cual se realizó el análisis de sendero frente a las características fenotípicas conforme se presenta en la Figura 1.

La relación entre los coeficientes de correlación y los coeficientes de sendero se estableció usando el siguiente modelo

estadístico organizado en la notación matricial (Ecuaciones <3> y <4>):

$$R_{(n^*1)} = A_{(n^*n)} * P_{(n^*1)} \quad <3>$$

$$P_{(n^*1)} = A^{-1}_{(n^*n)} * R_{(n^*1)} \quad <4>$$

Dónde: $R_{(n^*1)}$ = matriz de correlaciones entre las n variables independientes (X) con la variable dependiente (Y); $A_{(n^*n)}$ = matriz de correlaciones entre variables independientes (X); $P_{(n^*1)}$ = matriz de efectos directos de las n variables independientes (X); $A^{-1}_{(n^*n)}$ = matriz inversa de correlaciones entre variables independientes (X).

Las correlaciones genéticas y las pruebas de t se determinaron mediante los procedimientos PROC VARCOMP y PROC TTEST del software SAS versión 9.3, respectivamente (39). Para el análisis de sendero se utilizó el paquete “agricolae” (30) bajo la plataforma del software R (34).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las correlaciones genéticas (r_g) entre las variables evaluadas se muestran en la Tabla 3. El número de flores y la producción de café presentaron una relación directa y muy alta, la cual se explica al considerar que la cantidad de flores determina en gran medida la magnitud probable de frutos al final de la fase reproductiva del cafeto (9, 36). Por su parte, el área foliar tiene una relación directa y de carácter alto con las variables número de nudos con flores, número de flores y producción de café. De acuerdo con Favarin *et al.* (18), el área foliar es un indicador de productividad cuando se expresa por unidad de superficie, dada su influencia sobre procesos como: el crecimiento vegetativo, la tasa de desarrollo, la eficiencia fotosintética y la evapotranspiración, así como en el uso de nutrientes y agua (1,

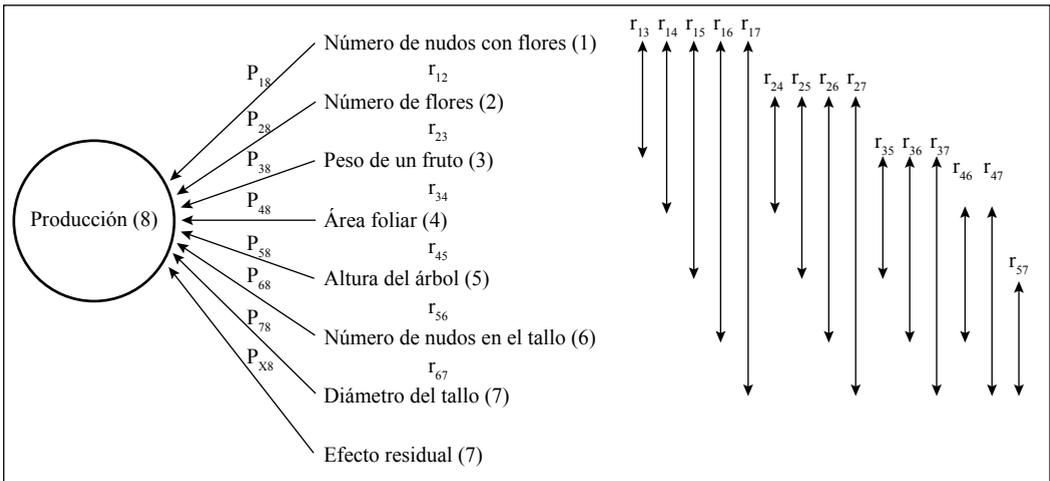


Figura 1. Diagrama de los coeficientes de sendero indicando las vías de influencia de siete características fenotípicas sobre la producción de café cereza, para 18 genotipos de *C. arabica*.

4, 20, 22, 49, 50). Adicionalmente, el área foliar brinda protección a yemas, flores y frutos, de condiciones climáticas adversas como el granizo y el exceso de radiación, entre otros (3).

Correlaciones clasificadas como moderadas y directas se observaron entre las siguientes variables: número de flores y número de nudos con flores, número de nudos en el tallo y número de nudos con flores, producción de café y número de nudos con flores, peso de un fruto y número de flores, área foliar y peso de un fruto, además de producción de café y peso de un fruto (Tabla 3). El número de nudos en el tallo se asocia con la capacidad productiva del genotipo, porque en conjunto con el número de nudos por rama, son componentes del rendimiento (29). Para Bonomo *et al.* (5) el número de nudos en las ramas está asociado con la cantidad de yemas productivas. Marandu *et al.* (27), encontraron una correlación positiva y moderada entre el número de flores por nudo, con la producción de café en clones de *Coffea canephora*. Kitila *et al.* (24) en *C.*

arabica observaron una correlación positiva y moderada, entre la producción y el peso de los frutos.

En contraste, las variables número de nudos con flores, número de flores y área foliar presentaron relaciones inversas y altas con la altura del árbol (Tabla 3). Para la producción de café esta relación fue inversa pero moderada (Tabla 3). Nacif (32), encontró que la producción de café presentó una correlación negativa con la altura de la planta, en diferentes densidades a partir de los 2,5 años, debido a la competencia entre las dos variables vegetativas por la partición de los carbohidratos en *C. arabica* cv. Catuaí. Sin embargo, autores como Carvalho *et al.* (10), Martínez *et al.* (28), Teixeira *et al.* (43), Srinivasan (41) y Walyaro y Van der Vossen (48) reportan correlaciones positivas y significativas entre la altura de la planta con la producción de frutos en *C. arabica* y *C. canephora*.

El diámetro del tallo mostró una correlación baja y positiva con la producción.

Carvalho *et al.* (10), Nacif (32) y Rodrigues *et al.* (38) también reportan correlaciones positivas y bajas, entre estas variables. Entre las demás variables se registraron correlaciones bajas y, en algunos casos, no llegaron a ser estadísticamente significativas (Tabla 3).

En la Tabla 4, se presenta el análisis de sendero con los efectos directos e indirectos de las características fenotípicas evaluadas sobre la producción de café cereza. La correlación entre el número de flores y la producción de café cereza fue predominantemente atribuida a la influencia de efecto directo del número de flores sobre la producción (Tabla 4). De igual forma, la correlación genética entre el área foliar y la producción fue determinada por su correspondiente efecto directo (Tabla 4). El peso de un fruto como determinante de la producción de café cereza es importante, dada la correlación entre estas características, sin embargo, la causa de esta relación de acuerdo con el

análisis de sendero es indirecta, porque ocurre a través de las variables número de flores y área foliar (Tabla 4).

De acuerdo con lo anterior, las dos variables de mayor peso sobre la producción durante el primer período de cosecha son el número de flores y el área foliar, porque inciden conjuntamente sobre el desarrollo y tamaño del fruto (33, 35). Según Anim-Kwapong *et al.* (1) al disminuir el área foliar se reduciría consecuentemente la tasa de asimilación de carbono, con lo cual se afectaría directamente el rendimiento de los cultivos. En *C. arabica*, de acuerdo con Cannell (8) y Vasudeva y Ratageri (46) se requieren cerca de 20 cm² de área foliar para soportar el llenado de cada fruto. De acuerdo con Cannell (7) y Kumar (25) cambios en el peso de frutos, los granos y la relación peso de granos a frutos no son los principales determinantes para la producción de café bajo condiciones normales; pero una severa defoliación sí puede causar una reducción en estas características (15).

Tabla 3. Coeficientes de correlación genética (r_g) entre ocho características agronómicas evaluadas en 18 genotipos de *C. arabica*.

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Número de nudos con flores en las ramas plagiotrópicas (#)	-							
2. Número de flores en las ramas plagiotrópicas (#)	0,56 **	-						
3. Peso promedio de un fruto (g)	0,20 **	0,59 **	-					
4. Área foliar (m ² /árbol)	0,80 **	0,80 **	0,65 **	-				
5. Altura del árbol (cm)	-0,81 **	-0,64 **	-0,10 ns	-0,60 **	-			
6. Número de nudos en el tallo (#)	0,68 **	0,34 **	0,08 ns	0,48 **	-0,21 **	-		
7. Diámetro del tallo (cm)	0,08 ns	0,25 **	0,31 **	0,46 **	-0,05 ns	-0,11 ns	-	
8. Producción de café cereza árbol (kg)	0,52 **	0,91 **	0,61 **	0,79 **	-0,51 **	0,33 **	0,40 **	-

** Significativos a P=0,01; ns estadísticamente no significativos.

Tabla 4. Análisis de los coeficientes de sendero (efectos directos e indirectos) de siete características agronómicas sobre la producción de café cereza, en 18 genotipos de *C. arabica*.

Variable	Efecto	Sendero	Valor
	Total (correlación genética r_{18})		0,52**
1	Directo vía número de nudos con flores (1)	P_{18}	-0,71
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{12}$	0,28
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{13}$	0,02
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{14}$	0,34
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{15}$	0,34
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{16}$	0,26
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{17}$	0,01
	Total (correlación genética r_{28})		0,91**
2	Directo vía número de flores (2)	P_{28}	0,49
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{12}$	-0,40
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{23}$	0,05
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{24}$	0,34
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{25}$	0,27
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{26}$	0,13
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{27}$	0,03
	Total (correlación genética r_{38})		0,61**
3	Directo vía peso de un fruto (3)	P_{38}	0,08
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{13}$	-0,15
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{23}$	0,29
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{34}$	0,28
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{35}$	0,04
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{36}$	0,03
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{37}$	0,04
	Total (correlación genética r_{48})		0,79**
4	Directo vía área foliar (4)	P_{48}	0,43
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{14}$	-0,57
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{24}$	0,39
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{34}$	0,05
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{45}$	0,25
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{46}$	0,18
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{47}$	0,06
	Total (correlación genética r_{58})		-0,51**
5	Directo vía altura del árbol (5)	P_{58}	-0,58
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{15}$	0,42
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{25}$	-0,32
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{35}$	-0,01
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{45}$	-0,26
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{56}$	-0,08
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{57}$	-0,01

Continúa...

...continuación.

Variable	Efecto	Sendero	Valor
Total (correlación genética r_{68})			0,33**
6	Directo vía número de nudos en el tallo (6)	P_{68}	0,37
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{16}$	-0,49
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{26}$	0,17
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{36}$	0,01
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{46}$	0,20
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{56}$	0,09
	Indirecto vía diámetro del tallo (7)	$P_{78}r_{67}$	-0,02
Total (correlación genética r_{78})			0,40**
7	Directo vía diámetro del tallo (7)	P_{78}	0,14
	Indirecto vía número de nudos con flores (1)	$P_{18}r_{17}$	-0,06
	Indirecto vía número de flores (2)	$P_{28}r_{27}$	0,12
	Indirecto vía peso de un fruto (3)	$P_{38}r_{37}$	0,02
	Indirecto vía área foliar (4)	$P_{48}r_{47}$	0,20
	Indirecto vía altura del árbol (5)	$P_{58}r_{57}$	0,02
	Indirecto vía número de nudos en el tallo (6)	$P_{68}r_{67}$	-0,04

Efecto residual (PX_8)=0,391; Coeficiente de determinación (R^2)=0,85; **: significativos en la prueba de *t* al 1% de significancia.

El efecto indirecto vía área foliar explicó predominantemente la correlación positiva entre el diámetro del tallo y la producción (Tabla 4). Kitila *et al.* (24) encontraron una asociación positiva y significativa entre el área foliar y el diámetro del tallo, aunque de carácter bajo. Por su parte, la baja correlación genética entre el número de nudos en el tallo con la producción se dio por el efecto indirecto vía número de nudos con flores (Tabla 4). La correlación entre la altura de la planta con la producción fue negativa y responde al efecto directo de la altura sobre la producción (Tabla 4). Esta respuesta se debe a que los genotipos de mayor altura o porte alto presentaron una menor producción, área foliar y número de flores en relación con aquellos de menor altura o porte bajo, durante la primera cosecha (Tabla 5). Severino *et al.* (40), encontraron una correlación genotípica negativa y baja entre la producción de café cereza y la altura de la planta en *C. arabica* cv. Catimor.

Tabla 5. Prueba de *t* para genotipos de café de portes alto y bajo, para cuatro características fenotípicas y la producción de café cereza, en *C. arabica*.

Porte	Media	LI	LS	Pr > t
Altura del árbol (cm)				
Alto	207,1	203,3	211	**
Bajo	179,4	177,1	181,7	
Área foliar (cm²)				
Alto	1.504,6	1.391,9	1.617,4	
Bajo	3.675,6	3.503,6	3.847,6	**
Número de flores (número)				
Alto	303,6	280,7	326,6	
Bajo	488,6	457,8	519,3	**
Producción (g)				
Alto	1.050,4	934,8	1.166,0	
Bajo	1.793,5	1.657,6	1.929,4	**

LI y LS: Límites inferior y superior para el intervalo con un coeficiente de confianza del 95%; ** significativos en la prueba de *t* al 1% de significancia.

La correlación genotípica entre el número de nudos con flores y la producción fue positiva y moderada. No obstante, el efecto directo de ésta fue negativo, lo cual indica una ausencia de causa y efecto entre estas dos características, puesto que tal correlación fue predominantemente influenciada por el efecto indirecto de las variables área foliar y altura del árbol (Tabla 4). De acuerdo con Cruz y Regazzi (14), las características que presentan una alta correlación con la variable básica, pero tienen un efecto directo de signo contrario en el análisis de sendero, resultan no ser determinantes para la variable básica, porque existen otras características que la explican mejor, aunque de manera indirecta. El coeficiente de determinación del análisis de sendero muestra que las variaciones en la variable básica fueron explicadas en un 85% por el arreglo causal propuesto (Tabla 4).

Los resultados permiten concluir que la producción de café cereza durante el primer período del ciclo productivo se asocia predominantemente con el número de flores y área foliar, debido a la alta correlación y al efecto directo encontrado entre estas variables. Características como el número de nudos con flores y el promedio del peso de un fruto, aun cuando están correlacionadas con la producción, dependen prevalentemente de los efectos indirectos vía área foliar y/o del número de flores. La altura del árbol presentó una correlación inversa y baja con la producción, pero su efecto fue directo. El diámetro del tallo y el número de nudos en el tallo presentaron una asociación baja e indirecta con la producción. Sin embargo, es necesario a futuro validar si las correlaciones encontradas se mantienen durante un ciclo reproductivo completo del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Los autores agradecen al señor Mario Franco Arcila y al personal de apoyo de la Estación Experimental Naranjal por su valiosa colaboración.

LITERATURA CITADA

1. ANIMK., E.; ANIMK., G.J.; ADOMAKO, B. Variation and association among characters genetically related to yield and yield stability in coffee *Canephora* genotypes. *Journal of plant breeding and crop science* 3(12):311-320. 2011.
2. ARCILAP., J. Aspectos fisiológicos de la producción de café *coffea Arabica* L. p. 59-111. En: CENICAFÉ. Tecnología del cultivo del café. Manizales : CENICAFE : Comité departamental de cafeteros de Caldas, 1987. 404 p.
3. ARCILA P., J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. p. 1-34. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2007. 309 p.
4. BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. *Scientia agricola* 62(4):305-309. 2005.
5. BONOMO, P.; CRUZ, C.D.; VIANA, J.M.S.; PEREIRA, A.A.; OLIVEIRA, V.R. DE; CARNEIRO, P.C.S. Avaliação de progenies obtidas de cruzamentos de descendentes do híbrido de Timor com as cultivares Catuai vermelho e Catuai amarelo. *Bragantia* 63(2):207-219. 2004.
6. CANNELL, M.G.R. Components of fruit yield: Animal report 1970/71. Kenya : Coffee research foundation, 1971.
7. CANNELL, M.G.R. Effects of irrigation, mulch and N fertilisers on yield components of Arabica coffee in Kenya. *Experimental agriculture* 9(3):225-232. 1973.
8. CANNELL, M.G.R. Factors affecting Arabica coffee bean size in Kenya. *Journal of horticultural science* 49(1):65-76. 1974.

9. CAMAYO V., G.C.; CHAVES C., B.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Desarrollo floral del café y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Cenicafé* 54(1):35-49. 2003.
10. CARVALHO, A.; SCARANARI, H.J.; ANTUNES F., H.; MONACO, L.C. Melhoramento do caféiro XXII: Resultados obtidos no ensaio de seleções regionais de Campinas. *Bragantia* 20(30):711-740. 1961.
11. CARVALHO, A.M. DE; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, G.R.; BOTELHO, C.E.; GONÇALVES, F.M.A.; FERREIRA, A.D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa agropecuária brasileira* 45(3):269-275. 2010.
12. CASTILLO Z., J.; MORENO R., L.G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Chinchiná : Cenicafé, 1987. 169 p.
13. CEBALLOS, H. Genética cuantitativa y fitomejoramiento. Palmira : Universidad nacional de Colombia, 2003. 524 p.
14. CHAPARRO B., A.P., CRISTANCHO A., M.A., CORTINA G., H.A.; GAITÁN B., A.L. Genetic variability of *Coffea arabica* L. accessions from Ethiopia evaluated with RAPDs. *Genetic resources and crop evolution* 51(3):291-297. 2004.
15. CILAS, C.; BOUHAMONT, P.; BOCCARA, M.; ESKES, A.B.; BARADAT, P. Prediction of genetic value for coffee production in *Coffea arabica* from a half diallel with lines and hybrids. *Euphytica* 104(1):49-52. 1998.
16. CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2da ed. Viçosa : UFV, 1997. 390 p.
17. DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian journal of plant physiology* 19(4):485-510. 2007.
18. DEWEY, D.R.; LU, L.H. A correlation and path analysis of components of crested wheat grass seed production. *Agronomy journal* 51:515-518. 1959.
19. FALCONER, D.S.D.S. Introducción a la genética cuantitativa. México : Continental, 1986. 383 p.
20. FAVARIN, J.L.; NETO, D.D.; GARCÍA, A.G.; VILLA N., N.A.; FAVARIN, M.G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do caféiro. *Pesquisa agropecuária brasileira* 37(6):769-773. 2002.
21. FNC. CENICAFÉ. Consulta red meteorológica cafetera. Manizales : FNC, 2015.
22. FILHO, J.F.; BELTRÃO N.; PEREIRA, A. Desenvolvimento de uma régua para medidas de área foliar do algodoeiro. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental* 14(7):736-741. 2010.
23. FREITAS, Z.M.T.S. DE; OLIVEIRA, F.J. DE; CARVALHO, S.P. DE; SANTOS, V.F. DOS; SANTOS, J.P.O. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. *Bragantia* 66(2):267-275. 2007.
24. GOUDRIAAN, J.; VAN L., H.H. Modeling potential crop growth processes. Dordrecht : Kluwer academic, 1994. 238 p.
25. HINKLE, D.E.; WIERSMA, W.; JURIS, S.G. Applied statistics for the behavioral sciences. 5ta. ed. Massachusetts : Houghton Mifflin, 2003. 792 p.
26. HUXLEY, P.A.; ISMAIL, S.A.H. Floral atrophy and fruit set in Arabica coffee in Kenya. *Turrialba* 19(3):345-354. 1969.
27. KITILA, O.; ALAMEREW, S.; KUFA, T.; GAREDEW, W. Variability of quantitative traits in limmu coffee (*Coffea arabica* L.) in Ethiopia. *International journal of agricultural research*. 6(6):482-493. 2011.
28. KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). *Kenya coffee* 43(510):263-272. 1978.
29. LI, C.C. Path analysis: A primer. 3ra. ed. California : The boxwood, 1981. 347 p.
30. MARANDU, E.F.T.; REUBEN, S.O.W.M.; MISANGU, R.N. Genotypic correlations and path of influence among components of yield in selected Robusta coffee (*Coffea canephora* L.) clones. *West african journal of applied ecology* 5(1):11-20. 2004.
31. MARTÍNEZ, H.E.P.; CRUZ, C.D.; AUGUSTO, H.S.; SAMPAIO, N.F.; PEDROSA, A.W. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados: *Acta scientiarum. Agronomy* 29(4):481-489. 2007.
32. MEJÍA, J.W.; CARTAGENA, J.R.; RIAÑO, N.M. Morphometric and productive characterization of nineteen genotypes from the colombian coffee collection. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín* 66(2):7021-7034. 2013.
33. MENDIBURU, F. Statistical procedures for agricultural research: R package versión 1.2-4. [En línea].

- Disponble en internet: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~fmendiburu>. Consultado en 2016.
34. MONCADA, M.P.; MCCOUCH, S. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid coffee species. *Genome* 47(3):501-509. 2004.
 35. NACIF, A.P. Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuai, sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes no cerrado de Patrocínio-MG. Viçosa : Universidade Federal de Viçosa, 1997. Tesis: Doctor en Fitotecnía.
 36. PHILIPS, A.L. Effect of leaf loss during harvest on subsequent yield of coffee. *Journal of agriculture of the university of Puerto Rico* 54(3):503-507. 1970.
 37. R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna : R foundation for statistical computing, 2013.
 38. RAJU, K.S.; SRINIVASAN, C.S.; VISHVESHWARA, S. Vegetative floral balance in coffee: Effect of thinning of blossom on set and bean size. *Indian coffee* 39(7/8):217-219. 1975.
 39. RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.R.; CUESTAG., G.; MENZAF., H.D.; MEJÍA M., C.G.; MONTOYA, D.F.; MEJÍA M., J.W.; TORRES N., J.C.; SÁNCHEZ A., P.M.; BAUTE B., J.E.; PEÑA Q., A.J. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61(2):132-158. 2010.
 40. RENDÓN S., J.R.; ARCILAP., J.; MONTOYAR., E.C. Estimación de la producción de café con base en los registros de floración. *Cenicafé* 59(3):238-259. 2008.
 41. RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; BARBOSA, D.H.S.G.; VITTORAZZI, C. Growth and yield of *Coffea arabica* L. in northwest Fluminense: 2nd harvest. *Ceres* 59(6):809-815. 2012.
 42. SAS INSTITUTE. The SAS system for Windows: Release 9.3. North Carolina : SAS Institute, 2010.
 43. SEVERINO, L.S.; SAKIYAMA, N.S.; PEREIRA, A.A.; MIRANDA, G.V.; ZAMBOLIM, L.; BARROS, U.V. Associações da produtividade com outras características agrônômicas de café (coffee Arabica L. "Catimor"). *Acta scientiarum agronomy* 24(5):1467-1471. 2002.
 44. SRINIVASAN, C.S. Correlation studies in coffee: Preliminary studies on correlation between stem girth and ripe cherry yield in some coffee selections. *Indian coffee* 33(10):318-319. 1969.
 45. SRINIVASAN, C.S. Pre-selection for yield in coffee. *Indian journal of genetics* 42(1):15-19. 1982.
 46. SURESHKUMAR, V.B.; NIKHILA, K.R.; PRAKASH, N.S.; MOHANAN, K.V. Interrelationship and association of characters in Robusta coffee (*Coffea canephora* var. Robusta). *Agriculture, forestry and fisheries* 2(2):98-104. 2013.
 47. TEIXEIRA, A.L.; GONÇALVES, F.M.A.; REZENDE, J.C. DE; CARVALHO, S.P. DE; PEREIRA, A.A.; MORAES, B.F.X. DE; TEIXEIRA, L.G.V. Seleção precoce para produção de grãos em café arábica pela avaliação de caracteres morfológicos. *Pesquisa agropecuária brasileira* 47(8):1110-1117. 2012.
 48. VALENCIA, A. Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. *Cenicafé* 24(4):79-89. 1973.
 49. VALENCIA, R.A.; LIGARRETO, G.A. Correlación fenotípica y análisis de sendero para el rendimiento de soya (*Glycine max* L.) Merrill). *Acta agronómica* 61(4):353-362. 2012.
 50. VASUDEVA, N.; RATAGERI, M.C. Studies on leaf to crop ratio in two comercial species of coffee grown in India. *Journal of coffee research* 11(4):129-136. 1981.
 51. VIVEROS, C.A.; GARCÍA, D.B.; SALAZAR, F.A.; LÓPEZ, L.O.; VICTORIA, J.I. Características de la caña de azúcar asociadas con toneladas de caña por hectárea y sacarosa (% caña). *Acta agronómica* 64(3):268-272. 2015.
 52. WALDRON, B.L.; EHLKE, N.J.; WYSE, D.L.; VELLEKSON, D.J. Genetic variation and predicted gain from selection for winterhardiness and turf quality in a perennial ryegrass topcross population. *Crop science* 38(3):817-822. 1998.
 53. WALYARO, D.J.; VAN DER VOSSEN, H.A.M. Early determination of yield potential in Arabica coffee by applying index selection. *Euphytica* 28(2):465-472. 1979.
 54. WARNOCK, R.; VALENZUELA, J.; TRUJILLO, A.; MADRID, P.; GUTIÉRREZ, M. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía tropical* 56(1):21-42. 2006.
 55. WILLIAMS, L.; MARTINSON, T.E. Nondestructive leaf area estimation of 'Niagara' and 'DeChaunac' grapevines. *Scientia horticulturae* 98(4):493-498. 2003.
 56. WRIGHT, S. Correlation and causation. *Journal of agricultural research* 20:557-585. 1921.

ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA DE SUELO EN LA REGIÓN CAFETERA DE CALDAS

Luz Adriana Lince Salazar*; Andrés Felipe Castro Quintero**;
Wadi Andrey Castaño**; Fabio Alexis Torres Angarita**

LINCES, L.A.; CASTRO Q., A.F.; CASTRO Q., W.A.; TORRESA., F.A. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en suelo en la región cafetera de Caldas. Revista Cenicafé 68 (1): 73-82. 2017

Las unidades de terreno propensas a una actividad de deslizamiento en un área determinada pueden ser zonificadas mediante mapas de susceptibilidad o de igual potencial de inestabilidad. Con el objetivo de zonificar la susceptibilidad por movimientos en masa en la zona cafetera del Departamento de Caldas se realizó una investigación utilizando el método determinístico, cuyo análisis se fundamentó en la predicción de los movimientos en masa a partir del álgebra de mapas temáticos de geomorfología, litología, formaciones superficiales y estructuras tectónicas. La información base fue obtenida a partir del estudio de zonificación de suelos de la zona cafetera de Caldas y de la interpretación de imágenes RapidEye. Se encontró que el 36,34% del área presenta susceptibilidad muy alta, 14,33% alta, 23,61% media, 21,76% baja y 3,96% nula; de éstos, los grados alto y muy alto se asociaron con las cenizas volcánicas y su contacto con rocas de baja permeabilidad, los materiales litológicos y la alta actividad tectónica. Además, se presentan los sistemas de información geográfica como una herramienta útil, rápida y confiable para la zonificación de susceptibilidades a procesos naturales.

Palabras clave: Cenizas volcánicas, Factores detonantes, Litología, Sistema de información geografía.

ZONING OF SUSCEPTIBILITY BY SOIL MASS MOVEMENTS IN THE COFFEE REGION OF CALDAS

Land units prone to slip activity in a given area can be zoned by susceptibility maps or maps with the same potential for instability. With the objective of zoning susceptibility by mass movements in the coffee region of the Department of Caldas, a research was carried out using the deterministic method, whose analysis was based on the prediction of mass movements from the algebra of thematic geomorphological maps, lithology, surface formations, and tectonic structures. The base information was obtained from the study of soil zoning of the coffee region of Caldas and the interpretation of RapidEye images. The results show that 36.34% of the area has very high susceptibility, 14.33% high susceptibility, 23.61% average susceptibility, 21.76% low susceptibility, and 3.96% null susceptibility. High and very high degrees were associated with volcanic ash and its contact with low permeability rocks, lithological materials and high tectonic activity. In addition, geographic information systems are considered as a useful, fast and reliable tool for the zoning of susceptibilities to natural processes.

Keywords: Volcanic ash, detonating factors, Lithography, Geography information system.

* Investigador Científico I, Disciplina de suelos

** Asistente de Investigación, Disciplina de Suelos Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

Los movimientos en masa han sido definidos como los movimientos de una masa de roca, escombros o tierra a lo largo de una ladera (5, 17, 26, 22 y 7). Soeters y Van Westen (20) afirmaron que el origen de estos procesos es el debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales litosféricos que conforman las vertientes, a causa de actividades humanas y procesos naturales, tales como meteorización y levantamientos tectónicos. Dai y Lee (10) y Ferrer (12) indican que las variables que controlan la ocurrencia y distribución de los movimientos en masa se dividen en cuasiestáticas o condicionantes y dinámicas; las cuasiestáticas incluyen las propiedades de los suelos, la geología y la topografía, mientras que entre las dinámicas se encuentran la precipitación y los sismos. La distribución espacial de los movimientos en masa está dada por las variables cuasiestáticas y el patrón temporal es definido por las dinámicas (10).

La zonificación por susceptibilidad a movimientos en masa o de igual potencial de inestabilidad tiene como objetivo zonificar las unidades de terreno que están propensas a una similar actividad de deslizamientos. De acuerdo con Varnes (24), la susceptibilidad es la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir con base en las condiciones locales del terreno, y la zonificación es la división de un territorio en áreas homogéneas dado el grado de susceptibilidad y amenaza para cada una. Aristizábal *et al.* (3) proponen tres modelos metodológicos para la evaluación de la susceptibilidad: (i) Heurístico que se basa en los procesos geomorfológicos, (ii) Estadístico, basado en predicciones estadísticas por combinación de variables generadoras de deslizamientos en el pasado y (iii) Determinístico, el cual se basa en modelos de estabilidad.

En cuanto a la clasificación de susceptibilidad, Cruden y Varnes (6) indican que ésta varía dependiendo del cambio de los factores detonantes, es decir, las zonas **no susceptibles** a movimientos en masa son aquellas donde a pesar de sufrir exorbitantes cambios en sus factores detonantes no se dan los movimientos en masa; las zonas con **susceptibilidad baja** corresponden a los sitios en los que en presencia de fuertes cambios en factores detonantes ocurrirán muy pocos movimientos en masa; la **susceptibilidad media** ocurre en zonas que con un cambio moderado en factores detonantes sucederán algunos movimientos en masa; la **susceptibilidad alta** se presenta en áreas en que bajo un leve cambio en factores detonantes ocurrirá un número considerable de movimientos en masa y la **susceptibilidad muy alta** se presenta en aquellas zonas en las que inclusive bajo un débil cambio en los factores detonantes ocurrirá un gran número de movimientos en masa.

La susceptibilidad y la amenaza se diferencian en que en la primera se zonifica el terreno de acuerdo a la favorabilidad a fallar, y en la segunda se muestra la probabilidad de ocurrencia en áreas susceptibles a movimientos en masa e involucra la frecuencia, la magnitud, el tiempo y el espacio de los factores detonantes (4).

Para el departamento de Caldas, en el estado del arte se encuentran diferentes aportes. Naranjo y Ríos (18) delimitaron la influencia a los riesgos geológicos para la parte central del departamento, incluyendo el riesgo a movimientos en masa; Suárez (21) realizó un estudio de erosión en la cuenca hidrográfica del río Chamberí; Vásquez (25) efectuó un análisis de estabilidad de taludes en la carretera que de la población de Salamina conduce hacia Aranzazu; Cubillos y Salazar (8) zonificaron las amenazas

geológicas en el municipio de Filadelfia, teniendo en cuenta las unidades litológicas y geomorfológicas; el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico – Mineras (15) presentó el mapa de amenazas geológicas a escala 1:250.000; Van Westen *et al.* (23) realizaron una aproximación determinística a la amenaza por deslizamientos, empleando sistemas de información geográfica, en un estudio de caso para Manizales; Arango (2) relacionó la lluvia con los deslizamientos y zonificó geotécnicamente un sector de la ciudad de Manizales; Lince y Orozco (16) presentaron la zonificación de la susceptibilidad a los movimientos en masa en los municipios de Filadelfia y Aranzazu, basada en la predicción de movimientos en masa mediante variables cuasiestáticas generadoras de deslizamientos en el pasado y el uso actual del suelo;

y Chardon (9) evaluó la vulnerabilidad a amenazas naturales en zonas urbanas de Manizales. Dado que para la región cafetera del departamento de Caldas no se dispone de reportes a escala 1:100.000 que muestren la susceptibilidad a los movimientos en masa, se realizó un estudio cuyo objetivo fue zonificar la susceptibilidad a movimientos en masa para dicha región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó para la región cafetera del departamento de Caldas, ubicado entre 05°46'51" – 04°48'20" latitud Norte, y 74°38'01" – 75°55'45" longitud Oeste, en los flancos Oriental y Occidental de las cordilleras Occidental y Central, respectivamente (Figura 1).

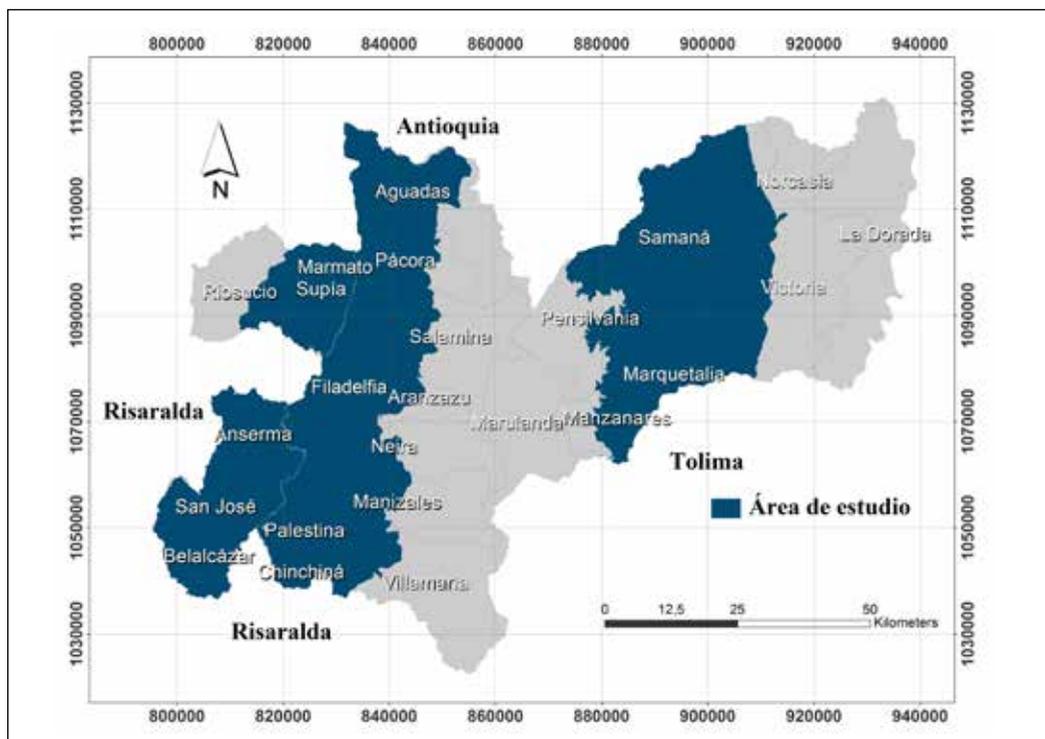


Figura 1. Ubicación de la región con potencial cafetero (área de estudio) en el departamento de Caldas.

El método empleado fue el determinístico, cuyo análisis se fundamentó en la predicción de movimientos en masa (generación de un mapa de susceptibilidad), a partir de información geomorfológica, litológica, estructuras tectónicas y formaciones superficiales, consideradas como propiedades cuasiestáticas generadoras de deslizamientos.

La información para construir los mapas temáticos de geomorfología, litología, estructuras tectónicas y formaciones superficiales, fue obtenida a partir del estudio de zonificación de suelos de la zona cafetera de Caldas, realizado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia a escala 1:100.000 del año 1982 y de la interpretación de imágenes RapidEye, logradas en los años 2010 – 2011, con una resolución espacial de 7 m, resolución espectral de cinco bandas y radiométrica de 16 bits.

La clasificación de los mapas temáticos se realizó teniendo en cuenta los valores de peso propuestos por Lince y Orozco (16), para los casos en los que el material parental tiene afinidad olivínica, el valor de peso empleado fue de 15 (mayor valor de peso para litología) debido a que dichos materiales son los más susceptibles al intemperismo (Tabla 1); además se excluyó el mapa temático de inclinación del terreno, debido a que dicho parámetro se tuvo en cuenta en la clasificación geomorfológica.

El mapa de susceptibilidad total se clasificó teniendo en cuenta los rangos ponderados propuestos por Lince y Orozco (16), de tal forma que la susceptibilidad de aquellas zonas cuya suma de mapas temáticos (SMT) fue: i) ≤ 20 , presentan **susceptibilidad nula**, es decir, que con exorbitantes cambios en los factores detonantes, no se darán deslizamientos; ii) >20 SMT ≤ 30 , **baja**, con fuertes cambios en

Tabla 1. Valores de peso para determinar la susceptibilidad a los movimientos en masa (16).

Propiedad	Componente	Valor de peso	Susceptibilidad
Litología	Aglomerados	5	Baja
	Conglomerados, cuarzodioritas, cherts	8	Baja
	Granito	9	Media
	Andesita, gabro, pórfidos	10	Media
	Areniscas, monzonita	12	Alta
	Anfibolitas, gneis	13	Alta
	Basaltos olivínicos, esquistos, serpentinitas	15	Muy alta
Formación superficial	Cenizas volcánicas	20	Muy alta
	Coluvión	9	Media
	Saprolito	2	Baja
Geomorfología	Colinas	5	Baja
	Antiguas terrazas	7	Media
	Coluviones	10	Media
	Vertientes con cimas redondeadas	8	Media
	Vertientes colinadas	12	Alta
	Vertientes erosionadas y lomeríos	15	Muy alta
Estructuras tectónicas	Falla geológica	10	Muy alta
	Lineamiento geológico	5	Alta

los factores detonantes ocurrirán muy pocos deslizamientos; iii) $>30 \text{ SMT} \leq 40$, **media**, con un cambio moderado en los factores detonantes acontecerán algunos deslizamientos; iv) $>40 \text{ SMT} \leq 45$, **alta**, con un leve cambio en factores detonantes sucederá un número considerable de deslizamientos; v) >45 , **muy alta**, bajo el débil cambio en los factores detonantes ocurrirá un gran número de deslizamientos. Tanto la edición temática como la extracción de áreas y el álgebra de mapas se realizaron con el software ArcGis 10.2. 2013.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la susceptibilidad atribuida a la litología, el 69,33% del área presentó valores de susceptibilidad muy alta, 20,21% alta, 8,04% media y 2,42% baja (Figura 2). Las razones por las cuales más del 89,54% de la zona muestra litológicamente susceptibilidad alta a muy alta, se debe a la abundancia de materiales de composición básica y ultrabásica (Figura 2), que por su naturaleza química

presentan poca resistencia a los procesos de meteorización y a cuerpos metamórficos de dinámica regional, que por ser foliados aumentan la susceptibilidad, ya que determinan planos preferenciales de deslizamiento (16). El 10,46% correspondiente a susceptibilidad media y baja, posiblemente debido a la naturaleza ácida e intermedia de los materiales y a la resistencia al intemperismo, como es el caso del granito, la cuarzdiorita, la andesita y los depósitos conglomeráticos y de areniscas, eventualmente provenientes de terrazas aluviales precuaternarias. Procesos similares a éste fueron descritos por Roa (19) para una localidad en Venezuela.

La susceptibilidad generada por las formaciones superficiales, fue alta en 73,06% del área, media en 2,21% y baja en 24,74%. La susceptibilidad alta fue atribuida a que la mayor parte de la zona de estudio está cubierta por cenizas volcánicas (Figura 3), que reposan discordantemente sobre materiales de permeabilidad inferior, lo que genera una interrupción en el continuo hídrico, y con

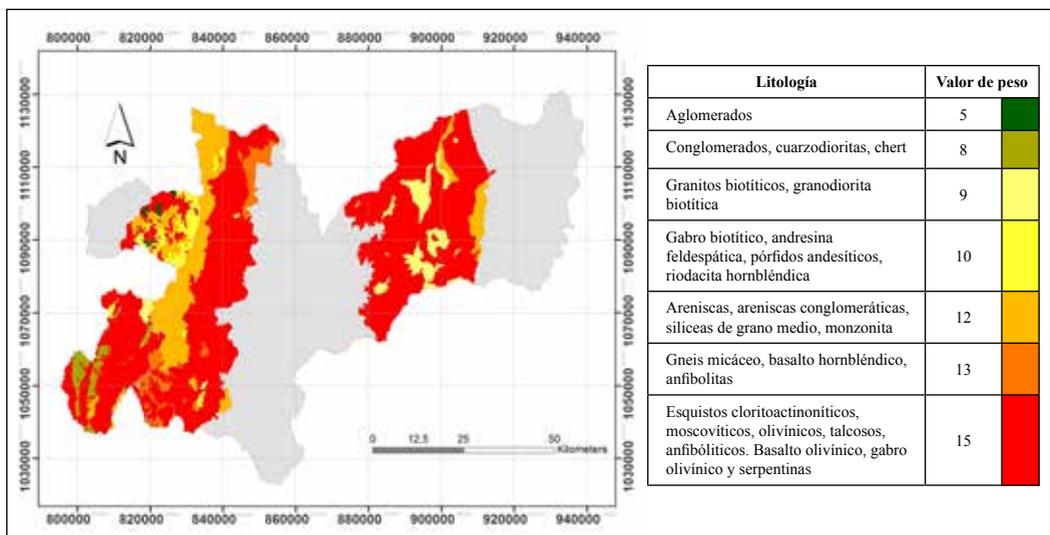


Figura 2. Mapa de valores de peso para unidades litológicas para la región con potencial cafetero de Caldas.

ello líneas preferenciales de flujo de agua que sirven de desplazamiento de material litosférico. Además, al proceso anterior puede sumarse la inestabilidad que crea el aumento en el peso en los cuerpos de ceniza debido a la alta saturación de agua. El 2,21% en susceptibilidad media, se atribuye a la caída de fragmentos de roca provenientes de coluviones y el 24,74% restante en susceptibilidad baja probablemente se deba a la poca resistencia del material litosférico meteorizado que no presenta coberturas cuaternarias. La anterior descripción relacionada con las cenizas volcánicas concuerda con lo propuesto por Guirales *et al.* (14) en el estudio de propiedades mecánicas de arcillas alófanas en Colombia ante procesos de saturación.

Desde la geomorfología el 56,43% de la zona presenta susceptibilidad muy alta, 0,99% alta, 11,01% media y 31,24% baja. El 57,42% con susceptibilidad muy alta y alta se debe a que el desplazamiento de masas es favorecido por acción de la fuerza de gravedad en las altas pendientes. En el

42,58% perteneciente a susceptibilidad media y baja, el desplazamiento de masas no es favorecido por la acción de la gravedad ya que corresponden a zonas de baja inclinación y los procesos de infiltración son continuos en las cimas redondeadas. Cruden (7) y Duque (11), presentan resultados similares en cuanto a la relación de la inclinación de las laderas con la susceptibilidad a los movimientos en masa.

La susceptibilidad influenciada por tectonismo regional afecta el 23,16% del área y se asocia con el sistema de fallas de Romeral. El análisis del mosaico RapidEye, indicó que lo sugerido por Aguilar y Mendoza (1) de tomar un corredor de seguridad de 500 m a lado y lado de la falla, es insuficiente para delimitar el área de influencia tectónica del sistema de Romeral, ya que se apreciaron indicios de movimiento incluso hasta 5 km del eje central de la falla (Figura 5). La susceptibilidad en esta zona es alta, debido a que se trata de un sistema de falla inverso, el cual aumenta la probabilidad de ocurrencia

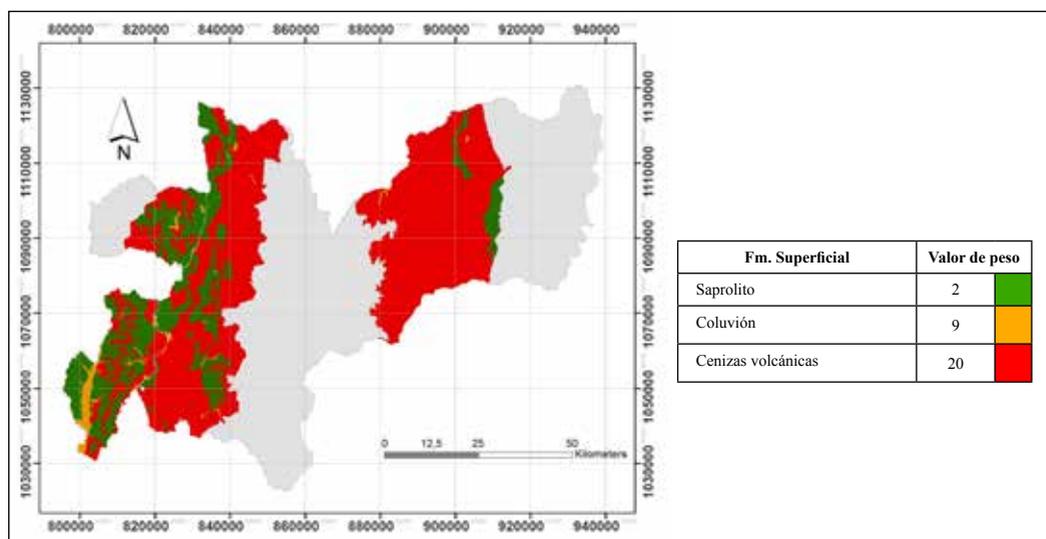


Figura 3. Mapa de valores de peso para formaciones superficiales para la región con potencial cafetero de Caldas.

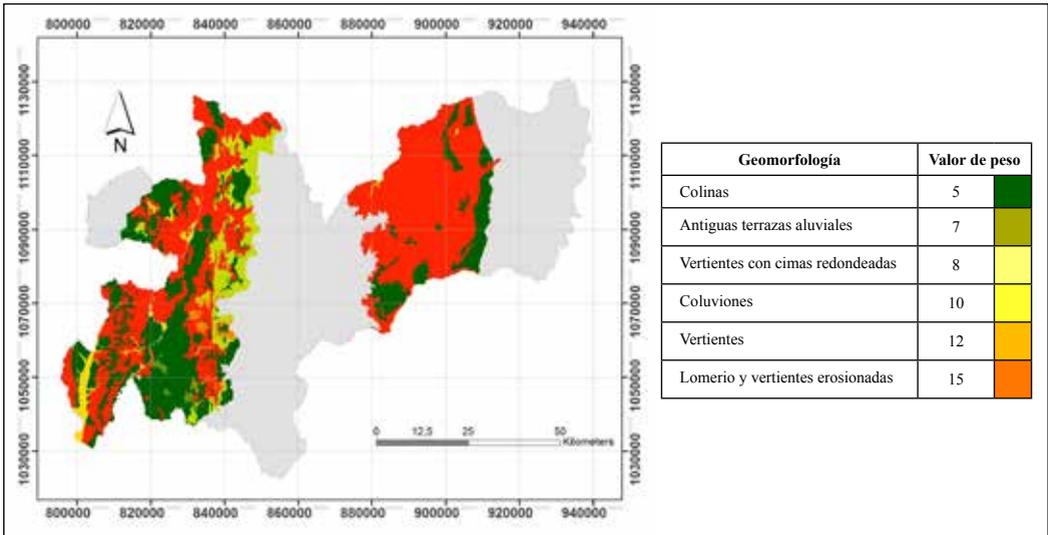


Figura 4. Mapa de valores de peso para la geomorfología en la región con potencial cafetero de Caldas.

de movimiento en masa tal como lo indican Naranjo y Ríos (18).

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa indica que el 36,34% de la zona presenta susceptibilidad muy alta, 14,33% alta, 23,61% media, 21,76% baja y 3,96% nula. Las susceptibilidades muy alta y alta se encuentran en las regiones central y occidental del departamento, con influencia parcial o total en los municipios de Aguadas, Aranzazu, Pácora, Salamina, Chinchiná, Manizales, Neira, Palestina, Villamaría, Filadelfia, La Merced, Marmato, Riosucio, Supía, Anserma, Belalcázar, Risaralda, San José y Viterbo. La susceptibilidad de la región central se atribuye al sistema de fallas de Romeral y de la región oriental a la naturaleza de los materiales, la inclinación de la pendiente y longitud de las laderas.

Las regiones con susceptibilidad baja y media (45,37%) se encuentran al Occidente y afectan parcialmente los municipios de La Merced, Marmato, Riosucio, Supía, Anserma,

Belalcázar, Risaralda, San José y Viterbo; estas condiciones se atribuyen a la baja presencia de cenizas volcánicas y al predominio de topografía suave con cimas redondeadas. Finalmente, la región con susceptibilidad nula ocurre en tan solo el 3,96% de la zona, presentándose de forma dispersa en los bordes oriental y occidental; estas zonas coinciden con áreas de topografía plana y materiales litológicos donde predominan suelos ácidos en los cuales los reportes de ceniza volcánica son bajos.

En este estudio puede concluirse que la mayor parte de la región con potencial cafetero del departamento de Caldas presenta un grado alto de susceptibilidad a los movimientos en masa, el cual se asoció a la presencia de cenizas volcánicas en contacto con rocas de baja permeabilidad, la baja resistencia de las rocas al intemperismo y alta actividad tectónica.

Para la zona de estudio, la susceptibilidad en la región oriental se atribuye a la naturaleza

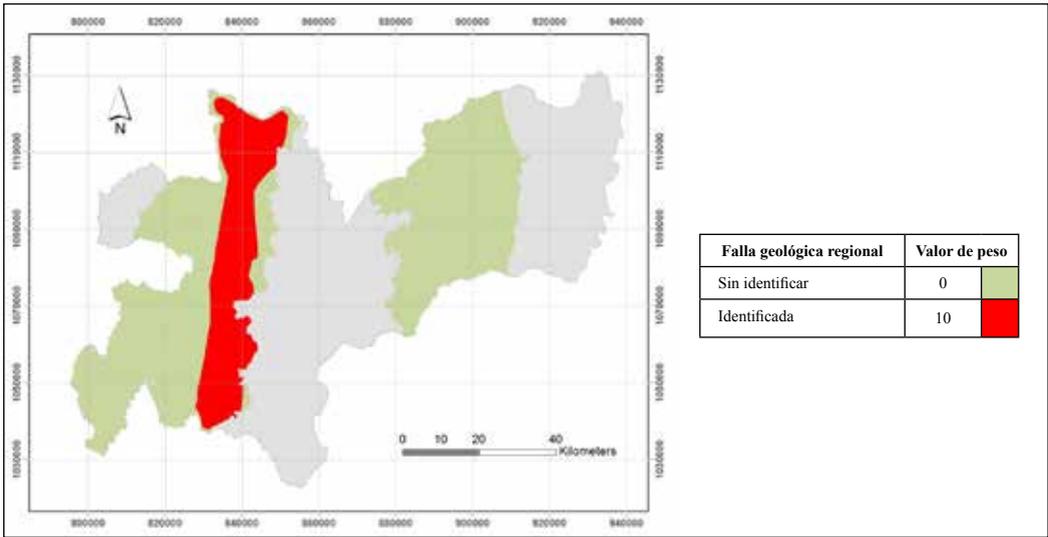


Figura 5. Mapa de valores de peso para influencia tectónica para la región con potencial cafetero de Caldas.

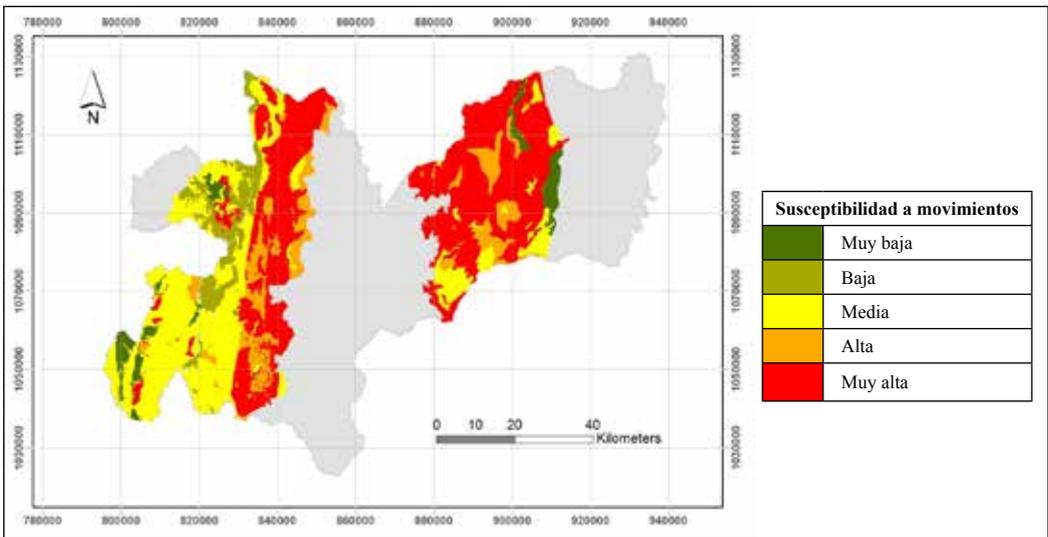


Figura 6. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa para la región con potencial cafetero de Caldas.

de los materiales, la inclinación de la pendiente y la longitud de las laderas, mientras que en la región central, la susceptibilidad está fuertemente ligada al sistema de fallas de Romeral, por lo cual en la zona constantemente

se activan deslizamientos, que en gran parte involucran material rocoso.

Los sistemas de información geográfica se presentan como una herramienta útil,

rápida y confiable para la zonificación de susceptibilidades a procesos naturales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Comité Departamental Cafeteros de Caldas, a la disciplina de Suelos de Cenicafé y a la ONG Solidaridad Andes.

LITERATURA CITADA

1. AGUILAR, V.; MENDOZA, D. Aproximación a un modelo de susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetero, Colombia. Cali : Universidad del Valle. Facultad de ingeniería topográfica, 2002. Tesis: Ingeniera topográfica.
2. ARANGO, J. Relaciones lluvia-deslizamiento y zonificación geotécnica de la comuna 2 de la ciudad de Manizales. Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2000. Tesis.
3. ARISTIZÁBAL, E.; MARTÍNEZ, H.; VÉLEZ, J.I. Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Revista academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales 34(131):209-227. 2010.
4. ARISTIZÁBAL, E.; YOKOTA, S. Geomorfología aplicada a la ocurrencia de deslizamientos en el valle de aburra. Dyna 73(149):5-16. 2006.
5. BRABB, E.E. Innovative approaches to landslide hazard mapping. Toronto : Proceed. IV Int. Symp. Landslides, 1984.
6. CRUDEN, D.M.; VARNES, D.J. Landslide types and processes. p. 36-75. En: Landslides: Investigation and mitigations. Washington : Transportation research board, 1996. 675 p.
7. CRUDEN, D.M. A simple definition of a landslide. Bulletin of the international association of engineering geology 43(1):27-29. 1991.
8. CUBILLOS, V.; SALAZAR J. Zonificación de amenazas geológicas en el municipio de Filadelfia (Caldas). Manizales : Universidad de Caldas, 1992.
9. CHARDON, A.C. Un enfoque geográfico de la vulnerabilidad en zonas urbanas expuestas a amenazas naturales: El ejemplo andino de Manizales Colombia. Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2002.
10. DAI, F.C.; LEE, C.F. Frequency volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. Engineering geology 59(3/4):253-266. 2001.
11. DUQUE, E.G. Manual de geología para ingenieros. [En línea]. Manizales : Universidad Nacional de Colombia, 2003. Disponible en internet: <http://www.galeon.com/manualgeo>.
12. FERRER, O.C. Un enfoque metodológico para la evaluación de la estabilidad relativa de los terrenos en la conurbación Valera-Trujillo/Andes Venezolanos): La ciudad de Trujillo y sus alrededores como caso especial de estudio. Mérida : ULA : Instituto de geografía, 1984.
13. GRISALES, A.; ÁLVAREZ, J.O.; BERNAL, E.; CABALLERO, A. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del departamento de Caldas. Manizales : COESAGRO : CENICAFÉ, 1982. 256 p.
14. GUIRALES, Y.B.; BRAND, M.B.; ÁNGEL, A.M. Variación de las propiedades mecánicas de arcillas alófanas en Colombia al variar el grado de saturación. EIA 10(20):173-181. 2013.
15. INGEOMINAS. Mapa geológico generalizado del departamento de Caldas: Escala 1:250.000. Manizales : El Instituto, 1993.
16. LINCE S., L.A.; OROZCO C., A.M. Estudio de susceptibilidad por movimientos en masa y caracterización geotécnica de los materiales en el área de influencia de la conducción del acueducto de Filadelfia. Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de ciencias exactas y naturales. 2001. 191 p. Tesis: Geóloga.
17. MEDINA, J. Fenómenos geodinámicos: Estudio y medidas de tratamiento. Lima : ITGD, 1991. 87 p.
18. NARANJO, J.L.; RÍOS, P.A. Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Universidad de Caldas 10(13). 1989.
19. ROA, J.G. Aproximación al mapa de susceptibilidad y amenazas por deslizamientos de la ciudad de Trujillo, Venezuela. Agora 9(2).
20. SOETERS, R.; WESTEN, C.J. VAN. Slope instability recognition, analysis and zonation. p. 129-177. En:

- TURNER, A.K.; SCHUSTER, R.L. Landslides investigation and mitigation. Washington : National academy, 1996.
21. SUÁREZ, F. Estudio semidetallado de erosión en la cuenca hidrográfica del río Chambery. Cali : Corporación autónoma regional del Cauca, 1990. 63 p.
22. SUÁREZ, J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga : UIS, 1998. 548 p.
23. WESTEN, C.J. VAN; TERLIEN, M.T.J. An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS: A case study from Manizales (Colombia). *Earth surface processes and landforms* 21(9):853-868. 1996.
24. VARNES, D.J. Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. Paris : UNESCO, 1984. 64 p.
25. VÁSQUEZ, L. Estudio geológico ambiental de la parte sw de Salamina salida hacia Aranzazu y San Félix. Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de geología y minas, 1991. Tesis: Geóloga.
26. VILLOTA, H. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. Bogotá : IGAC, 1991.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Centro Nacional de Investigaciones de Café
“Pedro Uribe Mejía”

DIRECCIÓN

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo Ph.D.
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional Esp.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.
Valentina Osorio Pérez., Ing. Alimentos Esp.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga**
Luz Fanny Echeverry G., Química
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola M.Sc.
Lady Juliet Vargas G., Ing. de Alimentos
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Duván Gallego A., Tecnólogo en Producción Agrícola
Alexis Uriago Y., Técnico en Producción Agrícola
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción Agropecuaria Ecológica
Gustavo Echeverri M.

Fisiología Vegetal

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
Aristóteles Ortiz., Químico M.Sc.
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo M.Sc.
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo
Javier Rojas O., Ing. Agrónomo
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Marcela Mora A.**
Mario Franco A.
Claudia Patricia Valencia V.
Mario Fernando Abella D.**

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga M.Sc.
Vanessa Catalina Díaz P., Química
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental
Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo Esp.
Andrés Felipe Castro Q., Ing. Agrónomo M.Sc.
Wadi Andrey Castaño C., Ing. Agrónomo
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola **
Leina Carina Vitobis A., Agrónomo
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química
Rigoberto Ochoa I., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Arturo Gómez V.
Alexey Ramírez P., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Stephanía Rincón Bermúdez., Tecnóloga Química
David Alejandro Nieto L., Técnico en Formulación e Implementación de Proyectos

Sebastián Mejía G., Tecnólogo Químico
Wilder Andrés Gutiérrez A.

Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo M.Sc.
Leidy Natalia Bermúdez F., Ing. Agrónomo
Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo
Luisa Marcela Cerquera B., Ing. Agrícola**
Jorge Alexis Ramos P., Ing. Agrícola**
Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola**
Natalia Andrade C., Ing. Agrónomo
Carlos Augusto Ramírez C., Técnico Profesional en Técnicas Forestales**
Miguel Ángel Erazo R., Tecnólogo en Agricultura de Precisión
Jonnier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en gestión agropecuaria**
Rubén Darío Ibagón E., Tecnólogo en Gestión Producción Sostenible del Café
Gustavo Bedoya Correa., Agrónomo
Gabriel Santiago Gil Meneses., Tecnólogo en Producción Agrícola
Andrea Giraldo Herrera., Aprendiz Universitario

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo M.Sc.
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Lucía Ángel G., Bióloga
Andrea Valencia O., Bióloga M.Sc.
Hernando A. Cortina Guerrero., Ing. Agrónomo M.Sc
Julio Quiroga Cardona., Ing. Agrónomo M.Sc
María del Pilar Moncada Botero., Ing. Agrónomo Ph.D
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónico
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal
Juan Camilo Devia Devia., Aprendiz Universitario

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo Ph.D.
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo Ph.D.

Lucio Navarro E., Biólogo Ph.D
Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial. M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing Agrónomo
Fernei López F., Ing. Agrónomo/Contador
Adriana Paola Gómez C., Tecnólogo en Administración y Producción Limpia de Café
Mauricio Jiménez Q., Agrónomo
Laura Alexandra Laiton J., Ing. Agrónomo
Juan Paulo Pimentel S., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Wilmar Osorio Cortes., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias.
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Faber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D
Álvaro Jaramillo Robledo., Ing. Agrónomo M.Sc
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola**
Arley Valencia S., Ing. Electrónico M.Sc
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola **
Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Alexander Restrepo Á., Tecnólogo en Electrónica
Myriam Giraldo M.
Luis Gonzaga Henao R.
Fabián Sánchez L.
Luis Fernando Torres Q.
Oriando Salazar G.
Mario López L.

Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo Ph.D.
Nancy del Carmen Arciniegas B., Ing. Agrónoma M.Sc.**
Juan Manuel López V., Ing. Agrónomo M.Sc.
Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo M.Sc.
Carlos Mario Calle., Ing. Agrónomo M.Sc.
Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de Computadores y Redes de datos.
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Jaroliver Cardona G.
Alejandro Gallego., Tecnólogo en Gestión Agropecuaria
Alexander Jaramillo J., Ing. Agrónomo M.Sc
Diana Marcela Ríos Ruda., Aprendiz

Poscosecha

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico Ph.D.
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos M.Sc.*
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico M.Sc.**
Juan Carlos López N., Microbiólogo M.Sc
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química**
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola **
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista **
Viviana Lorena Bohórquez Z., Bióloga
Cristy Mayerly González D., Ing. Ambiental

Andrés Felipe Osorio O., Ing. Químico
Gustavo Adolfo Gómez Z., Biólogo**
Jenifer Andrea Galeano Serna., Bióloga
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura por Arco y por Soplete
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda.
Walter Mauricio Osorio O.
Sebastián Bravo Casanova, Pasante Universitario

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias M.Sc.
Yolanda Castaño G.
José Farid López D., Téc. Administración Agropecuaria

Estación Central Naranja

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo**

Estación Experimental El Tambo

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

Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal M.Sc.

Estación Experimental La Catalina

Diego Fabián Montoya, Agrónomo
Francisco Javier Álzate O.
Vidal de Jesús Largo T.

Estación Experimental La Trinidad

Carlos Julio Ramírez Q., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Paraguaiacu

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

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio

Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos (Encargado)

APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.
Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.
Hernando García O., Tecnólogo Agroforestal**
Lina Marcela Díaz Bejarano., Estadístico **

Economía

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo M.Sc
Marisol González G., Economista**

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual
Jair Montoya T., Administrador de Empresas M.Sc.
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual

Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Carolina Quintero Escudero, Aprendiz

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas Esp.**
Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas,
Bibliotecóloga, Esp.
Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas Esp.
Daniel Orozco J., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones
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**
Humberto Iván Ríos., Ing. Ambiental Esp.
José Rubiel Castrillón G., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones.**
Audberto Quiroga M., Biólogo Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico Esp.
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo
de Sistemas de Información
Juan Diego Suárez Gil., Aprendiz

Unidad de Proyectos

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

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas,
Contador Público, Esp.
Rufina Perdomo G.
Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contadora Esp.
Jesús Danilo González O., Contador Esp.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público
María Camila Ramírez J., Contadora**
María Consuelo González H.
Carlos Andrés Pineda M., Contador Esp.
María Fernanda Ossa Vargas., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista M.Sc.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial

Leidy Tatiana Salas C., Profesional en Negocios
Internacionales
Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de
Negocios
Aura Janeth Sánchez P., Tecnóloga en Análisis y Desarrollo
de Sistemas de Información
Daniel Lince Correa., Tecnólogo en Gestión de Negocios/
Técnico en Logística
Gabriel Antonio Melo P.
Lina María Giraldo., Técnica en Asistencia Administrativa**
Julieth Andrea Otálvaro Díaz., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónico**
Paulo Alejandro Arias C., Ing Electricista Esp.
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria
y Financiera
Javier Vanegas V., Técnico Electricista
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica
Uriel López P.
Rogelio Rodríguez G.
Eduardo Villegas A.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Jorge Eduardo Sepúlveda V.
Jorge Antonio Arias A.
Carlos Andrés Hernández G.
Robinson Guzmán González., Técnico Electricista

Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social M.Sc.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de
Negocios**
Germán Uriel G., Administrador de Empresas, Esp.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional
Esp.**
Luz Adriana Tibaduiza García., Aprendiz Universitario
Yuli Andrea Bedoya López., Aprendiz

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial M.Sc.
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial Esp.
Juan Manuel Muñoz O., Administrador de empresas M.Sc
Juan Sebastián Gómez C., Contador Esp.
Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas Esp.
Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión Administrativa
Yenny Paola Moncada H., Aprendiz

* Comisión de Estudios

** Adelantando estudios en el país

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, $m^3 \cdot s^{-1}$ 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 g.día⁻¹, y no 5 g de peso seco.día⁻¹
 - _ Se aplicaron 25 g.ha⁻¹ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
 - _ Cada planta recibió 20 g.ha⁻¹ de agua, y no 20 g H₂O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/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 y 20°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 los siguientes modelos para citar las bibliografías, de acuerdo con los criterios determinados por el Comité Editorial de Cenicafé.

Libros, folletos y monografías

- Autor(es) . Título : Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Partes o capítulo de un libro

- Autor(es) del capítulo o parte. Título del capítulo o parte : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Compilador(es) o editor(es) del trabajo general . Título del trabajo general: Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. del libro.

Ponencias

- Autor(es) ponencia, congreso, etc . Título de la ponencia, etc. : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Título oficial del congreso, simposio, etc . (No. arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Trabajos de grado

- Autor(es) del trabajo. Título : Subtítulo. Ciudad : Institución universitaria que otorga el título. Facultad o Escuela, Fecha. No. total de págs. Trabajo de grado: título recibido.

Congresos, Seminarios, Simposios

- Nombre del congreso en mayúscula sostenida la primera palabra : Memorias, Actas, Procedimientos, etc. (No. Arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Artículos de revistas

- Autor(es) . Título del artículo : Subtítulo . Título de la revista. Volumen(número):Pág. inicial-pág.final del artículo. Año

Separatas y reimpresos

- Autor(es). Título de la separata : Subtítulo. En: Título de la publicación de la cual se extrae la separata Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha) si es un libro, o, Volumen y/o número si es una revista Año. (separata). No. Total de págs.

Boletines y Publicaciones en serie

- Autor(es) . Título : Subtítulo . Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. (Avances Técnicos, Boletín Técnico, Circular, etc. No. 00).

Normas

- Autor(es). Título : Subtítulo. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). (NTC 000). No. de págs.

Documentos electrónicos

- Autor(es). Título : Subtítulo. [En línea]. Lugar de publicación : Publicador, fecha. Disponible en internet: <http://www. ...> . Parte de un documento electrónico o registro de base de datos Consultado el ...Fecha de la consulta.

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 Cenicafe, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año)
- Proeveer 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 y se debe enumerar siguiendo un orden ascendente Las referencias deben citarse en el texto utilizando el número correspondiente al orden alfabético

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

Diseño y diagramación: Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión:

1.200 ejemplares

Para canjes con esta publicacion 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