

# Cenicafé

Revista del  
Centro Nacional de Investigaciones de Café



---

Volumen 63 Número 2

Julio - Diciembre 2012





**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**

Cecilia Álvarez Correa

**Director del Departamento Nacional de Planeación**

Simón Gaviria Muñoz

COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/2011- diciembre 31/2014

José Fernando Montoya

Eugenio Vélez Uribe

Luis Javier Trujillo Buitrago

Fernando Castro Polanía

Carlos Roberto Ramírez Montoya

Francisco Javier Pérez Marín

Fernando Castrillón Muñoz

Carlos Alberto Cardona Cardona

Jorge Julián Santos Orduña

Aura Teresa Pérez

Alfredo Yáñez Carvajal

Crispín Villazón de Armas

Iván Pallares Gutiérrez

Jorge Cala Robayo

**Gerente General**

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

**Gerente Administrativo**

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

**Gerente Financiero**

JULIÁN MEDINA MORA

**Gerente Comercial**

CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ

**Gerente Comunicaciones y Mercadeo**

LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

**Gerente Técnico**

CARLOS ARMANDO URIBE FANDIÑO

**Director Investigación Científica y Tecnológica**

FERNANDO GAST HARDERS

**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 2014  
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales  
E-mail: [cenicafe@cafedecolombia.com](mailto:cenicafe@cafedecolombia.com)  
[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)

# Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 63

JULIO - DICIEMBRE 2012

No. 2

## CONTENIDO

<b>EVALUACIÓN DE MARCADORES SSR LIGADOS A RESISTENCIA A <i>Colletotrichum kahawae</i> EN <i>Coffea arabica</i>.</b> Félix Alberto Guzmán; María del Pilar Moncada Botero .....	7
<b>EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A <i>Ceratocystis colombiana</i> Y <i>Ceratocystis papillata</i> EN GENOTIPOS DE CAFÉ.</b> Bertha Lucía Castro Caicedo; Hernando A. Cortina Guerrero .....	23
<b>EVALUACIÓN POR RESISTENCIA A <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari), EN POBLACIONES DERIVADAS DE CRUCES ENTRE CATURRA E INTRODUCCIONES ETÍOPES.</b> Juan Vicente Romero; Liliana Jimena Bustamante-Giraldo; Hernando Alfonso Cortina Guerrero; María del Pilar Moncada Botero .....	31
<b>INTERFERENCIA DE COBERTURAS VEGETALES EN LA ZONA DE RAÍCES Y ENTRE CALLES DEL CULTIVO DEL CAFÉ.</b> Luis Fernando Salazar Gutiérrez; Juan Gabriel Arango Ramírez; Carmen Soledad Morales Londoño .....	50
<b>MICROBIOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ SEGÚN SU MADUREZ Y SELECCIÓN.</b> Gloria Inés Puerta Quintero; Javier Marín Mejía; Gabriel Ángel Osorio Betancur .....	58
<b>PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA ADSORCIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN ALGUNOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA.</b> Siavosh Sadeghian Khalajabadi, Raúl Darío Zapata Hernández .....	79
<b>RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE EL NIÑO/LA NIÑA (ENSO) Y EL BRILLO SOLAR EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA.</b> Víctor Hugo Ramírez Builes; Álvaro Jaramillo Robledo .....	90
<b>RIESGO AGROCLIMÁTICO PARA ZONA CAFETERA COLOMBIANA: MÉTODO PARA REGIONALIZAR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA.</b> Víctor Hugo Ramírez Builes; Andrés Javier Peña Quiñonez; Álvaro Jaramillo Robledo; Julieth Paola Giraldo Escobar; Heverth Eduardo Suárez Arcila; Nelson Duque Rincón .....	98
<b>UN ENFOQUE MULTI-DIMENSIONAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA DE COLOMBIA, CON ÉNFASIS EN LA VULNERABILIDAD.</b> Caitlin Peterson; Andreea Nowak; Andrew Jarvis; Carolina Navarrete Frías; Apolinar Figueroa Casas; Néstor Miguel Riaño Herrera; Julio Ernesto Vargas Sánchez .....	116

## COMITÉ EDITORIAL

Fernando Gast H.	PhD. Director, Cenicafé Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Juan Carlos Herrera P.	PhD. Biólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Marco A. Cristancho A.	PhD. Microbiólogo. Fitopatología, Cenicafé
Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Ing. Agrícola. Ingeniería Agrícola, Cenicafé
Carmenza E. Góngora B.	PhD. Microbiólogo. Entomología, Cenicafé
Sandra Milena Marín L.	MSc. Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

## EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 63 (2)

Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Juan Carlos Herrera P.	PhD. Cenicafé, FNC
Zulma Nancy Gil P.	PhD. Cenicafé, FNC
Andrés Peña	MSc. Cenicafé, FNC
Argemiro Moreno	MSc. Esp. Ing. Agrónomo

## AGRADECIMIENTO A REVISORES

El éxito de la Revista CENICAFÉ se basa en la calidad de los artículos escritos por los autores y el cuidado y la competencia con que se revisan. Es política editorial de la Revista, solicitar la revisión de los manuscritos a los especialistas más calificados de nuestro país. En adición a los editores, los profesionales mencionados a continuación, han provisto una crítica constructiva de uno o más manuscritos incluidos en la presente edición. Sus nombres son publicados aquí en reconocimiento a su contribución a la Revista.

## REVISORES

Carmenza E. Góngora B.	PhD. Cenicafé, FNC
José Horacio Rivera	PhD. Cenicafé, FNC
José Ricardo Acuña S	PhD. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino	MSc. Cenicafé, FNC
Albert Fisher	PhD. Universidad de California
Megh Goyal	PhD. Universidad de Puerto Rico
Nora Cristina Mesa C.	PhD. Universidad Nacional de Colombia
Víctor Manuel Núñez Z.	MSc. Corpoica
Blanca Irene Vargas A.	MSc. ICA
Jairo Leguizamón	MSc. Ing. Agrónomo
Orlando Guzmán M.	MSc. Ing. Agrónomo
Ramiro Urrea	Ing. Agrónomo. Universidad de Caldas
Alma Henao T.	Bibliotecóloga. Cenicafé, FNC
Olga Umaña C.	MA. Traducción. Lic. en Lenguas Modernas

# EVALUACIÓN DE MARCADORES SSR LIGADOS A RESISTENCIA A *Colletotrichum kahawae* EN *Coffea arabica*

Félix Alberto Guzmán\*; María del Pilar Moncada-Botero\*.

---

## RESUMEN

**GUZMÁN, F.; MONCADA B, M del P.** Evaluación de marcadores SSR ligados a resistencia a *Colletotrichum kahawae* en *Coffea arabica*. *Revista Cenicafé* 63 (2): 7-22. 2012

El hongo *Colletotrichum kahawae* Bridge & Waller es el agente causal de la enfermedad de las cerezas del café (CBD, sus siglas en inglés: *Coffee Berry Disease*), y afecta desde flores hasta frutos maduros de *Coffea arabica* L. Sin embargo, las máximas pérdidas ocurren después de la infección de frutos verdes, debido a su momificación y caída. En los países caficultores africanos, esta enfermedad puede causar la pérdida hasta del 50% de la producción. El objetivo de este trabajo fue validar la asociación entre la resistencia a CBD y 15 microsatélites reportados previamente, para identificar marcadores útiles para la selección asistida en países como Colombia, donde el patógeno no ha sido reportado. Los microsatélites se evaluaron preliminarmente utilizando un genotipo susceptible (cv. Caturra) y un grupo diverso de 21 genotipos resistentes, posiblemente portadores de los genes *T*, *R* y *K*. Posteriormente, se usaron 64 genotipos para validar la asociación entre los microsatélites candidatos y la resistencia a CBD; algunos de estos genotipos tienen resistencia conocida a CBD, mientras que los otros están siendo evaluados en el Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto (CIFIC, sus siglas en portugués) en Portugal. Los resultados mostraron que tres de los 15 microsatélites (FR34-6ctg, CMA276 y Sat227) estarían asociados a resistencia a CBD en genotipos portadores de los genes *T* y *R*; adicionalmente, los microsatélites CMA276 y Sat227 detectaron bandas que estarían asociadas a un alelo de resistencia presente en genotipos silvestres de *C. arabica*. Estos tres microsatélites serán útiles en la selección precoz de genotipos portadores de resistencia a CBD.

**Palabras clave:** Enfermedad de las cerezas del café, CBD, mejoramiento genético, Selección Asistida por Marcadores (SAM), Secuencias Simple Repetidas (RSS).

---

## ABSTRACT

The fungus *Colletotrichum kahawae* Bridge & Waller causes Coffee Berry Disease (CBD) on *Coffea arabica* L., and attacks from flowers up to ripen fruits. However, severe yield losses occur after green berries are affected, due to its premature dropping and mummification. In African coffee producer's countries, this disease may cause up to 50% of yield losses. The main goal of this study was to validate the association between CBD resistance and 15 microsatellites previously reported, in order to identify suitable markers for marker assisted selection in countries like Colombia, where the pathogen has not been reported so far. These microsatellites were preliminary tested using one susceptible genotype (cv. Caturra) and a diverse group of 21 resistant genotypes, potentially carrying genes *T*, *R*, and *K*. Subsequently, a total of 64 genotypes were used in order to validate the association between some candidate markers and CBD resistance. Some of these 64 genotypes were already tested on hypocotyls, while some others are being tested at the Coffee Rust Research Center (CIFIC, its Portuguese acronym) in Portugal. The results unveiled that three out of the 15 microsatellites (FR34-6ctg, CMA276, and Sat227) would be associated to resistance in genotypes carrying genes *T* and *R*; additionally, CMA276 and Sat227 showed bands that would be associated to a resistance allele found in *C. arabica* wild genotypes. These three microsatellites are going to be suitable in the early selection of genotypes resistant to CBD.

**Keywords:** Coffee berry disease, CBD, plant breeding, Marker Assisted Selection (MAS), Simple Sequence Repeats (SSR).

---

\* Investigador Asociado (hasta septiembre de 2012) e Investigador Científico III, respectivamente, Disciplina de Mejoramiento Genético. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La producción de café tiene factores limitantes como la enfermedad de las cerezas del café (CBD, sus siglas en inglés: *Coffee Berry Disease*), causada por el hongo *Colletotrichum kahawae* Bridge & Waller (27). Esta enfermedad solo ha sido encontrada en África (21) y fue reportada por primera vez en 1922, al Oeste de Kenia, en cafetales de *Coffea arabica* L. sembrados en altitudes superiores a 1.700 m, y después de 70 años se había dispersado por todas las zonas cafeteras de África, ocasionando un gran daño económico debido a la pérdida de cosecha y los altos costos derivados de su control químico (3).

El hongo parasítico *C. kahawae* infecta desde flores hasta frutos maduros e incluso hojas, pero las máximas pérdidas ocurren después de la infección de frutos verdes y la formación de lesiones oscuras hundidas con esporulación (*acervuli*), que causan su caída prematura y momificación (27). Por lo tanto, el CBD tiene el mayor potencial de daño económico para la caficultura mundial.

Actualmente, la caficultura colombiana comprende 926.388 hectáreas y cerca del 26% están sembradas por encima de 1.700 m de altitud (10); porcentaje que tiende a incrementarse debido a la presencia de broca en bajas altitudes. Por lo tanto, CBD es una amenaza real para la caficultura colombiana debido a que el país no cuenta con variedades resistentes, y porque se han sembrado cafetales en sitios cuyas condiciones climáticas favorecerían la proliferación de su agente causal.

Estudios de estructura poblacional mostraron que la variabilidad genética de *C. kahawae* es baja, y sugieren que la especie es una unidad clonal (5, 7, 19, 20, 29). Por otro lado, aunque no se han identificado razas del patógeno, la técnica de grupos de

compatibilidad vegetativa ha sugerido la existencia de dos grupos en aislamientos de *C. kahawae* obtenidos en varios países cafeteros africanos. Según Bella-Manga *et al.* (4), un grupo corresponde a aislamientos de la región de África del Este, y el otro a aislamientos de Camerún; estos autores registraron variaciones en la patogenicidad del hongo. Así mismo, Bridge *et al.* (5), utilizando los Polimorfismos de Longitud de Fragmentos Amplificados (AFLP) reportaron cierto nivel de variabilidad que permitió diferenciar los aislamientos de Camerún de los de otros países.

Silva *et al.* (28) evaluaron 55 aislamientos de *C. kahawae* de nueve países africanos, usando datos de secuencia multi-locus, y confirmaron su baja variabilidad genética. Adicionalmente, identificaron tres grupos clonales divergentes: 1) Angola, 2) Camerún y 3) uno que incluía los aislamientos de los otros siete países. Estos autores resaltaron que las poblaciones de Angola y Camerún serían ancestrales, mientras que las del Este de África (por ejemplo, las kenianas) serían derivadas.

La herencia de la resistencia a CBD está controlada por genes localizados en tres loci (32). Estos genes están presentes en: 1) el Híbrido de Timor (gen *T*), el cual surgió de la hibridación espontánea entre las especies *C. arabica* y *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, 2) la variedad comercial K7 (gen *K*) y 3) Rume Sudán (genes *R* y *K*), que también es resistente a la roya del café (2). Van der Vossen y Walyaro (33) reforzaron el planteamiento que la resistencia a CBD es oligénica (uno a tres genes), luego de evaluar el CBD en germoplasma de Etiopía, centro de diversidad genética de *C. arabica* propusieron la existencia de una resistencia oligogénica en la cual actuarían entre uno y tres genes.

La resistencia genética es una alternativa de control de CBD, porque las variedades mejoradas reducen significativamente los costos del control químico, y son seguras para los humanos y el ambiente (12). Ejemplos de esto son las variedades Ruiru 11 y Batian, que se cultivan en Kenia debido a que son resistentes a CBD y roya (11, 23).

En Cenicafé, el proyecto de mejoramiento por resistencia a CBD tiene como base materiales cultivados y silvestres etíopes de *C. arabica*, y al Híbrido de Timor. La estrategia de Cenicafé consiste en identificar resistencia en las entradas de su banco de germoplasma mediante pruebas de preselección en hipocótilos. Estas pruebas se realizan en el Centro de Investigaciones de las Royas del Cafeto (CIFC, sus siglas en portugués: *Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro*) en Portugal, utilizando cuatro aislamientos del hongo: Uno de Camerún, otro de Kenia y dos de Zimbabue. Al identificar resistencia en el material mejorado, Cenicafé hace su evaluación agronómica en Colombia y al identificar resistencia en el germoplasma exótico realiza cruzamientos entre genotipos resistentes para recombinar los genes de resistencia; posteriormente realiza la respectiva evaluación agronómica en el país. Los dos inconvenientes principales en el desarrollo de esta estrategia son la baja repetibilidad (60%) de las pruebas de preselección en hipocótilos y la obligatoriedad de hacer estas pruebas fuera de Colombia, porque el patógeno solamente ha sido reportado en África.

Una alternativa mucho más confiable para seleccionar los genotipos que servirían como progenitores es la Selección Asistida por Marcadores (SAM). Además, en el caso de la preselección de genotipos resistentes a CBD, la SAM permitiría hacer selección en ausencia del patógeno.

La SAM se fundamenta en la búsqueda de marcadores moleculares asociados a características de interés (por ejemplo, resistencia a enfermedades) para que asistan en la escogencia de fenotipos sobresalientes (30). Los marcadores moleculares asociados a resistencia permiten evaluar poblaciones grandes en cualquier estado de su desarrollo; además, cuando la resistencia es conferida por varios genes, estos marcadores tienen la ventaja sobre las evaluaciones morfológicas, porque las plantas portadoras de resistencia múltiple pueden diferenciarse fácilmente de aquellas que portan solamente un gen (15).

Entre las herramientas moleculares, los microsatélites o Repeticiones de Secuencia Simple (SSR, sus siglas en inglés: *Simple Sequence Repeats*) han probado su utilidad en el etiquetamiento de genes de resistencia en cultivos como trigo (25, 34), arroz (16), garbanzo (14), algodón (9) y cebada (1), entre otros. Los SSR han sido usados en café para evaluar la diversidad de *C. arabica* y otras especies del género (6, 18, 22, 26, 30), e identificar marcadores asociados a resistencia a roya (13, 19) y CBD (12, 17, 24).

Por ejemplo, Gichuru *et al.* (12) utilizaron 57 SSR para evaluar dos poblaciones F<sub>2</sub> de los cruces entre un progenitor femenino susceptible a CBD (cv. SL28) y otro resistente (cv. Catimor 88 ó cv. Catimor 127). Estos autores indicaron que la banda más liviana de las dos amplificadas por el microsatélite Sat235, podría usarse como marcador de resistencia a CBD. Además, basándose en un análisis de ligamiento, este grupo encontró que los microsatélites Sat207 y Sat235 (en adelante denominados FR34-6ctg y CMA276, respectivamente) están asociados a la región cromosómica donde se encuentra un gen de resistencia a CBD.

El objetivo de este estudio fue validar la presencia de 15 microsatélites, previamente reportados (12, 17, 24), usando un grupo diverso de genotipos del banco de germoplasma de Cenicafé, con características de resistencia a CBD contrastantes, para identificar SSR útiles en la selección precoz de genotipos portadores de resistencia genética a esta enfermedad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

**Evaluación preliminar.** Se usó un grupo de 22 genotipos pertenecientes al banco de germoplasma de Cenicafé para hacer una evaluación preliminar de los SSR (Tabla 1). Se seleccionaron 19 de estos genotipos con base en los resultados de resistencia a CBD obtenidos en pruebas de preselección en hipocótilos realizadas en el CIFC, utilizando aislamientos de Camerún, Kenia y Zimbabue<sup>1</sup>. Se incluyeron dos individuos Ruiru 11, porque representan una variedad mejorada resistente a CBD en Kenia. El objetivo de la evaluación preliminar fue identificar bandas cuyo tamaño fuera distinto al del fragmento observado en el control susceptible (Caturra).

**Fase de validación.** Los SSR candidatos que mostraron bandas diferenciales con respecto al testigo Caturra se validaron utilizando 64 genotipos (Tabla 2). Esta muestra incluyó nueve genotipos de la evaluación preliminar: Ocho resistentes y el control susceptible. Los 55 genotipos adicionales incluyeron individuos del Híbrido de Timor, Sudán Rume I.963, Rume Sudán, Costa Rica 95, Iapar 59, F<sub>2</sub>: DG1399 x Sudán Rume I.971 y de F<sub>2</sub>: DG1399 x CCC1147 (Tabla 2).

**Extracción de ADN.** Se recolectaron hojas jóvenes y frescas de cada genotipo para hacer la extracción de ADN usando el *kit* comercial *DNeasy Plant Mini Extraction* (Qiagen Inc., Valencia, CA, USA) y siguiendo las recomendaciones del fabricante. El tejido foliar fue macerado en nitrógeno líquido para hacer la extracción a partir de 100 mg de tejido pulverizado. La calidad del ADN extraído se evaluó mediante electroforesis en geles al 1% de agarosa, usando tampón TBE 0.5X (Tris borato EDTA) y tinción con *SYBR® Safe DNA gel stain* (Invitrogen™, Carlsbad, CA, USA). El gel fue expuesto a luz ultravioleta y fotografiado. Cada ADN fue diluido a una concentración final aproximada de 20,0 ng.μL<sup>-1</sup> y almacenado a -20°C hasta su uso.

**Microsatélites.** Se evaluaron 15 pares de cebadores de microsatélites para validar su utilidad en la detección de bandas asociadas a resistencia a CBD (Tabla 3). Cinco de estos microsatélites fueron evaluados previamente en estudios planteados para identificar marcadores asociados a resistencia a CBD (12, 24). Los otros 10 SSR se utilizaron en un estudio de introgresión en *C. arabica* (17).

Las reacciones de amplificación se realizaron en un volumen total de 20,0 μL, que contenía 20,0 ng de ADN, 0,5 μM de cada cebador, 0,125 mM de cada dNTP, 2,0 μL de tampón 10X (0,1 M Tris pH 8,3 - 0,5 M KCl, 0,1% gelatina), 2,0 μL de magnesio (15 mM) y una unidad de *Taq* polimerasa obtenida en el laboratorio de marcadores de Cenicafé. Todas las amplificaciones se realizaron en termocicladores programables PTC-100 (MJ Research, Inc., Waltham, MA, USA) utilizando el siguiente perfil: 94°C durante 5 min; 35 ciclos con fase de desnaturalización de 60 s a 94°C, fase de

<sup>1</sup> Informes anuales, Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé, 2000-2012.

**Tabla 1.** Genotipos seleccionados con base en los resultados de las pruebas de hipocótilo realizadas en el CIFC, utilizando tres aislamientos del patógeno.

	Genotipo <sup>a</sup>	Número de árbol	Aislamiento <sup>b</sup>		
			Camerún	Kenia	Zimbabue
1	DG1399	1.276	R	R	R
2	Maragogipe amarillo	790	R	R	R
3	Maragogipe amarillo	783	R	R	R
4	CCC1147	920	R	R	R
5	Java65	909	R	R	R
6	Cat x Can AJ389	1.574	R	R	R
7	Cat x Can FK105	937	R	R	R
8	Sudán Rume I.971	1.427		R	R
9	Cat x Can FK7	889		R	R
10	CCC1146	910		R	R
11	F2: Caturra36 x CCC1146	482		R	R
12	HdT 1343 I.574 CV1	553		R	R
13	HdT 1343 I.574 CV2	560		R	R
14	Jackson2	341		R	
15	Local Bronce TV	55		R	
16	Local Bronce 8	296		R	
17	HdT 1343 I.565	1.101		R	
18	K-7	700			R
19	F2: Caturra36 x CCC1146	223			R
20	Ruiru 11	1.340	Variedad mejorada resistente		
21	Ruiru 11	1.341	Variedad mejorada resistente		
22	Caturra	36	Control susceptible		

<sup>a</sup> CCC: Colección Colombiana de Café; Cat: Caturra; Can: Canephora; HdT: Híbrido de Timor.

<sup>b</sup> R: resistente.

hibridación de cebadores de 60 s a 55°C y fase de síntesis de 60 s a 72°C; y finalmente, 5 min a 72°C. Se utilizaron ciclos en cascada para disminuir la amplificación de productos no específicos (8). Las reacciones de amplificación con ciclos en cascada empezaban en una temperatura de hibridación alta (60°C) que iba disminuyendo en 1°C por cada ciclo hasta llegar a la temperatura de hibridación (55°C) de los cebadores.

La electroforesis de los productos amplificados se realizó en geles desnaturizantes con poliacrilamida al 4% con 6 M de urea y tampón TBE 1,0X. A

cada producto de la amplificación se le adicionaron 5,0 µL de tampón [95% (v/v) formamida, 20 mM EDTA pH 8,0 – 0,05% (p/v) azul de bromofenol y xilen cianol FF] y se desnaturizó el ADN durante 3 min a 95°C; luego se cargaron 5,0 µL de esta mezcla en los pozos del gel. Las muestras se dejaron migrar (2000V, 75W, 90mA) aproximadamente durante 80 min. e inmediatamente después se tiñeron con nitrato de plata.

Se escogieron seis genotipos al azar como control, para evaluar la reproducibilidad de los patrones y comparar bandas entre

**Tabla 2.** Listado de los 64 genotipos utilizados para la validación de los tres SSR candidatos.

Genotipo <sup>a</sup>	Árbol	Individuos	Experimento <sup>b</sup>	Observación
HdT 1343 I.565	1.101	1	MEG05.26	
HdT 1343 I.574 CV2	5.60	1	Colección de variedades	
Sudán Rume I.971	1.427	1	MEG05.27	
DG1399	1.276	1	MEG05.27	
CCC1146	910	1	MEG05.27	Silvestre etíope
CCC1147	920	1	MEG05.27	Silvestre etíope
Ruiru11	1.340, 1.341	2	MEG05.26	Variedad mejorada resistente
Caturra	36	1		Control susceptible
	Total =	9		
	416, 417, 426,			
HdT 832/1	1.654, 1.656, 1.658, 1.661	7	MEG05.27	
HdT 832/2	1.657	1	MEG05.27	
HdT 2252-2	332	1	MEG05.27	
HdT 2252-57	333	1	MEG05.27	
HdT 1343 I.574 CV2	561-566	6	Colección de variedades	
Sudán Rume I.963	1.222-1.230	9	MEG05.26	
Rume Sudán	91, 93-96, 98, 100	7	MEG05.26	
Costa Rica 95	1.885, 1.890	2	MEG05.26	Villa Sarchí CIFC 19/1 x HdT 832/1
Iapar 59	1.871, 1.874	2	MEG05.26	Villa Sarchí CIFC 971/10 x HdT 832/2
F2: DG1399 x Sudán Rume I.971	54-63, 65-67	13	MEG03.17	
F2: DG1399 x CCC1147	190-195	6	MEG03.17	
	Total =	55		

<sup>a</sup> HdT: Híbrido de Timor, CCC: Colección Colombiana de Café.

<sup>b</sup> MEG: Mejoramiento genético

geles. Estos genotipos se amplificaron separadamente y se corrieron varias veces en geles diferentes. Para cada SSR se determinó el tamaño (medido en número de nucleótidos) de las bandas amplificadas más intensamente, con base en su migración relativa a la de los marcadores de peso molecular [patrones de peso molecular de ADN de 25 pb y 10 pb (Invitrogen™, Carlsbad, CA, USA)].

**Análisis de datos.** Las bandas se registraron manualmente en estado presente (1) o ausente (0) y se generó una matriz de datos binarios para analizar la correspondencia entre la resistencia a un aislamiento de CBD y las bandas de los 15 SSR evaluados. Los mejores marcadores se seleccionaron con base en el número de veces en que la presencia de una banda coincidía con la resistencia a CBD, que había sido establecida en las pruebas de

**Tabla 3.** Listado de los 15 microsatélites evaluados en este trabajo.

	<b>Locus</b>	<b>GenBank acc.</b>	<b>Fuente bibliográfica</b>
1	M25	AJ250255	Omondi y Pinard (24)
2	M27	AJ250256	Omondi y Pinard (24)
3	M47	AJ250260	Omondi y Pinard (24)
4	FR34-6ctg	AJ308753	Gichuru <i>et al.</i> (12); Lashermes <i>et al.</i> (17)
5	CMA276		Gichuru <i>et al.</i> (12); Lashermes <i>et al.</i> (17)
6	M32	AJ250258	Lashermes <i>et al.</i> (17)
7	Sat11	AJ250252	Lashermes <i>et al.</i> (17)
8	Sat172	AJ308753	Lashermes <i>et al.</i> (17)
9	Sat227		Lashermes <i>et al.</i> (17)
10	Sat229		Lashermes <i>et al.</i> (17)
11	Sat240		Lashermes <i>et al.</i> (17)
12	Sat254		Lashermes <i>et al.</i> (17)
13	Sat255		Lashermes <i>et al.</i> (17)
14	Sat262	AY705498	Lashermes <i>et al.</i> (17)
15	Sat283	AJ308772	Lashermes <i>et al.</i> (17)

hipocótilo en el CIFC. Este análisis permitió discriminar los genotipos que teóricamente portaban el mismo gen de resistencia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

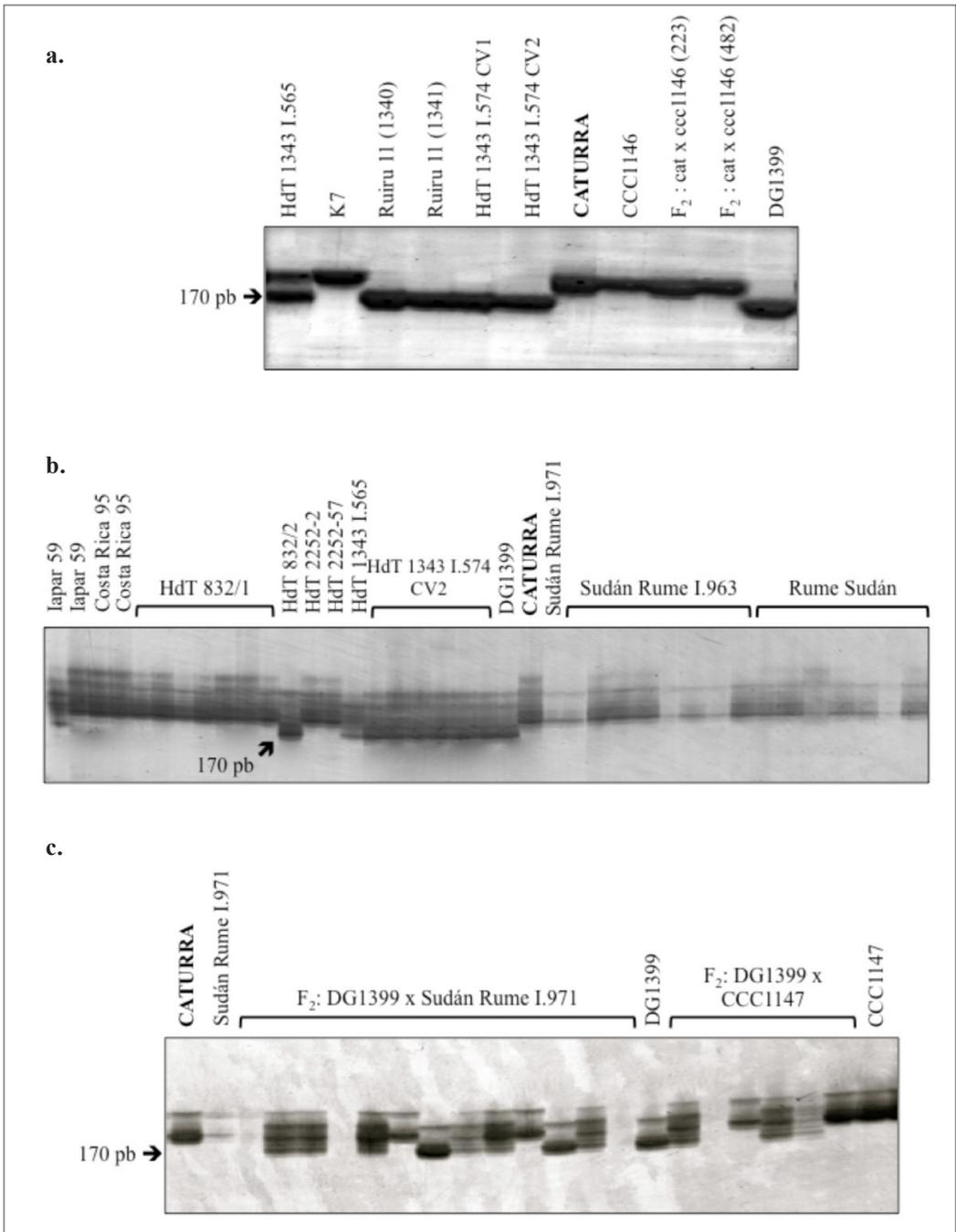
### Evaluación preliminar de los microsatélites.

De los 15 SSR en 12 no se detectaron bandas que discriminaran materiales resistentes y susceptibles, en los 22 genotipos incluidos en esta fase del estudio. Los microsatélites FR34-6ctg, CMA276 y Sat227 se consideraron candidatos para una potencial implementación de la selección asistida, ya que mostraron bandas cuyo tamaño era distinto al del fragmento observado en la variedad Caturra (Figuras 1, 2 y 3). Resalta el hecho que ningún SSR detectó fragmentos que pudieran asociarse a resistencia en el genotipo K7, portador del gen *K*; este individuo siempre mostró una banda del mismo tamaño que la amplificada en la variedad Caturra (Figuras 1, 2 y 3).

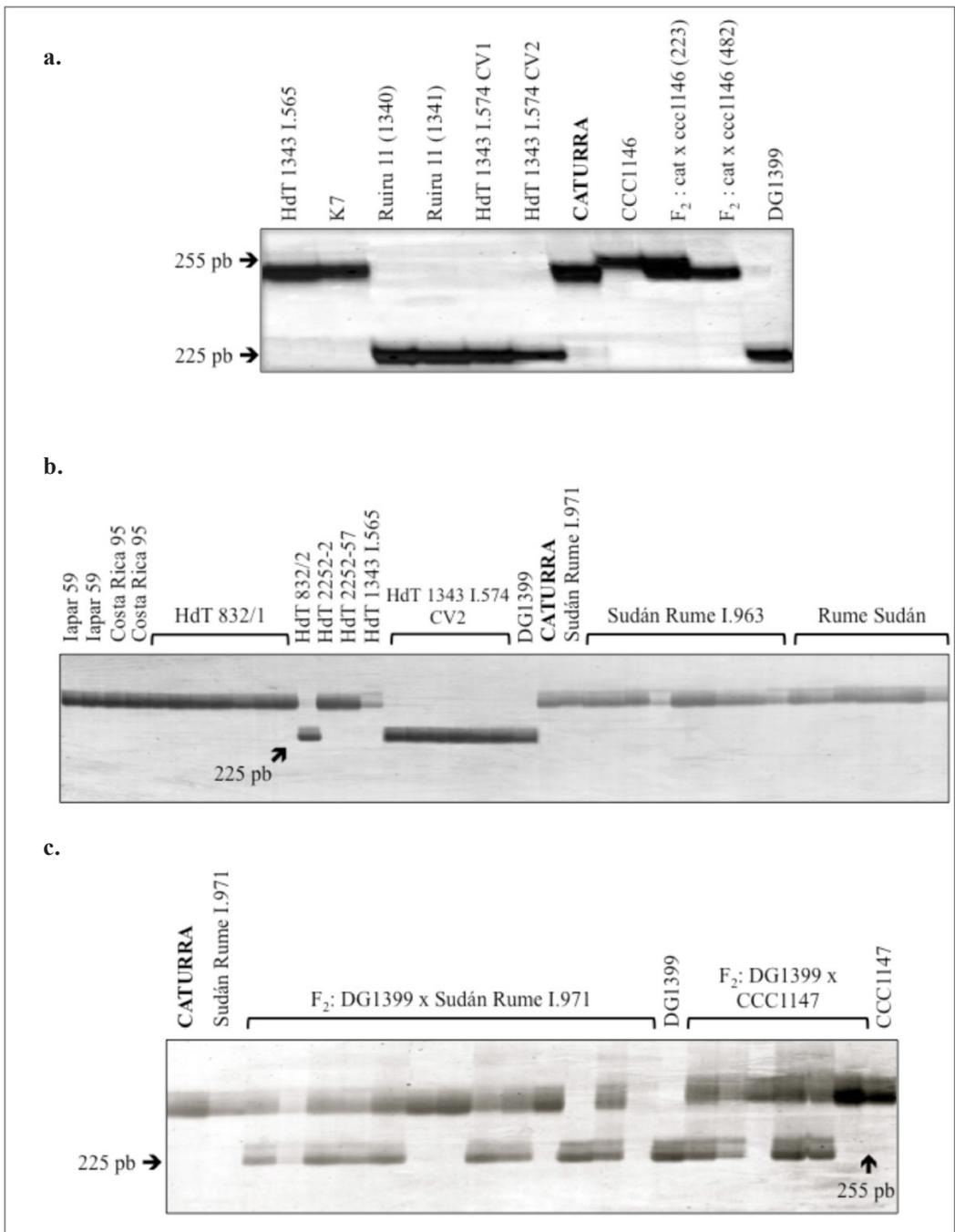
**Microsatélites candidatos para la selección asistida.** El microsatélite FR34-6ctg detectó

un fragmento de cerca de 170 pb que separó seis genotipos resistentes derivados del Híbrido de Timor (Figura 1a). En la fase de validación, este SSR detectó la banda asociada a resistencia (170 pb) en los individuos emparentados con el Híbrido de Timor y Sudán Rume, así: 1) un individuo Iapar 59; 2) el individuo HdT 832/2; 3) el individuo HdT 1343 I.565; 4) los siete individuos HdT 1343 I.574 CV2 (560 a 566) y 5) DG1399 (Figura 1b).

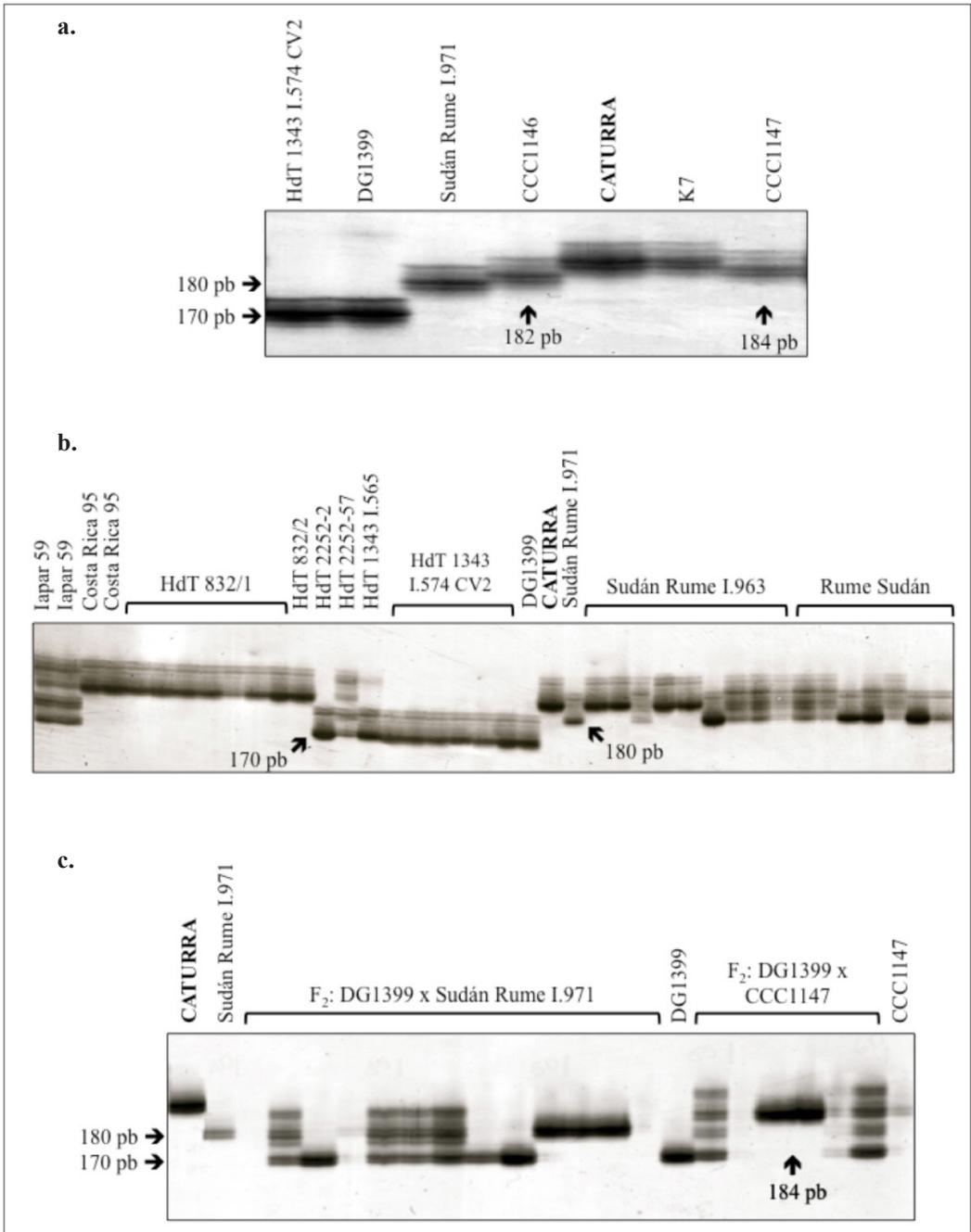
Por su parte, el microsatélite CMA276 en la evaluación preliminar, amplificó una banda de aproximadamente 225 pb que discriminó cinco genotipos resistentes relacionados con el Híbrido de Timor (Figura 2a); además, otro fragmento de cerca de 255 pb fue observado en los dos genotipos silvestres etíopes (por ejemplo, CCC1146 en la Figura 2a) y en uno de los individuos F<sub>2</sub> del cruce Caturra x CCC1146 (Figura 2a). En la validación, este SSR detectó el fragmento de resistencia (225 pb) en: 1) el individuo HdT 832/2; 2) los siete individuos HdT 1343 I.574 (560 a 566) y 3) DG1399 (Figura 2b).



**Figura 1. a.** Polimorfismo detectado en la evaluación preliminar; **b.** y **c.** Validación del microsatélite candidato FR34-6ctg. Las flechas señalan bandas distintas a las observadas en el control susceptible (Caturra). HdT: Híbrido de Timor, CCC: Colección Colombiana de Café, cat: Caturra.



**Figura 2. a.** Polimorfismo detectado en la evaluación preliminar; **b.** y **c.** Validación del microsatélite candidato CMA276. Las flechas señalan bandas distintas a las observadas en el control susceptible (Caturra). HdT: Híbrido de Timor, CCC: Colección Colombiana de Café, cat: Caturra.



**Figura 3. a.** Polimorfismo detectado en la evaluación preliminar; **b.** y **c.** Validación del microsatélite candidato Sat227. Las flechas señalan bandas distintas a las observadas en el control susceptible (Caturra). HdT: Híbrido de Timor, CCC: Colección Colombiana de Café.

La evaluación preliminar del microsatélite Sat227 detectó una banda de aproximadamente 170 pb que diferenció seis genotipos resistentes derivados del Híbrido de Timor (por ejemplo, HdT 1343 I.574 CV2 y DG1399 en la Figura 3a), y otra banda (aprox. 180 pb) distintiva de Sudán Rume (Figura 3a). Así mismo, Sat227 detectaron dos bandas en los genotipos silvestres CCC1146 y CCC1147 (aprox. 182 pb y 184 pb, respectivamente) que los diferenciaban del control susceptible (Figura 3a). Durante la fase de validación, este SSR detectó el fragmento de aproximadamente 170 pb que permitió diferenciar genotipos resistentes derivados del Híbrido de Timor (Figura 3b). Este fragmento fue observado en: 1) HdT 1343 I.565; 2) los siete individuos HdT I.574 CV2 (560 a 566) y 3) DG1399 (Figura 3b). Contrario a lo mostrado por FR34-6ctg y CMA276, este microsatélite no detectó en HdT 832/2 el fragmento (aprox. 170 pb) que estaría asociado a resistencia a CBD, sino que lo detectó en los individuos HdT 2252 (Figura 3b). Además, a diferencia de FR34-6ctg y CMA276, este microsatélite detectó en 12 individuos la banda (aprox. 180 pb) que estaría asociada a la resistencia de Sudán Rume (Figura 3b).

La validación de los resultados en las poblaciones segregantes  $F_2$  mostró que los tres microsatélites detectaron bandas posiblemente asociadas a genes de resistencia cuyos tamaños coinciden con los identificados en la evaluación preliminar: FR34-6ctg – 170 pb (Figura 1c), CMA276 – 225 pb y 255 pb (Figura 2c) y Sat227 – 170 pb, 180 pb, 182 pb y 184 pb (Figura 3c). Como se esperaba, por ser poblaciones segregantes, los tres microsatélites detectaron segregación en los 13 individuos del cruce DG1399 x Sudán Rume I.971 y en los seis del cruce DG1399 x CCC1147. Estos resultados serán validados con los resultados de resistencia a CBD que se obtendrán en las pruebas de

hipocótilos que actualmente están en desarrollo, y permitirán relacionar el genotipo de estos individuos y su resistencia a uno, dos o tres aislamientos del patógeno.

En general, los resultados de la fase de validación muestran que FR34-6ctg, CMA276 y sat227 no detectaron bandas de resistencia en la mayoría de los 16 individuos del Híbrido de Timor incluidos en esta fase del estudio (Tabla 2, Figuras 1, 2 y 3). Sin embargo, considerando que Iapar 59 es una variedad derivada de HdT 832/2 (Tabla 2), los microsatélites FR34-6ctg y CMA276 serían marcadores especialmente útiles en la selección por resistencia a CBD de materiales derivados del HdT 832/2 y HdT 1343 I.574 (Figuras 1b y 2b); no obstante, estos dos marcadores no detectaron bandas que diferenciaran a Caturra de Sudán Rume (Figuras 1c y 2c).

Por otro lado, resalta el hecho que CMA276 y Sat227 (Figuras 2c y 3c) detectaron en los  $F_2$ : DG1399 x CCC1147 las bandas (aprox. 255 pb y 184 pb, respectivamente) que estarían asociadas a la resistencia del progenitor silvestre (CCC1147). Por lo tanto, estos dos marcadores serían útiles para identificar genotipos silvestres etíopes portadores de un alelo de resistencia a CBD. Este hallazgo es particularmente llamativo porque hasta ahora no se han reportado alelos de resistencia en materiales silvestres. Consecuentemente, el marcador Sat227 será potencialmente útil para diferenciar individuos con resistencia procedente del Híbrido de Timor, Sudán Rume y CCC1147, y valdría la pena utilizarlo en diferentes poblaciones con resistencia de distintas fuentes.

**Utilidad de los tres SSR candidatos.** Gichuru *et al.* (12) reportaron que los microsatélites FR34-6ctg y CMA276 (Sat207 y Sat235, respectivamente) estuvieron fuertemente

asociados a los fenotipos resistentes a CBD incluidos en su estudio. Estos autores evaluaron dos poblaciones  $F_2$  del cruce entre un progenitor susceptible a CBD (cv. SL28) y otro resistente (cv. Catimor 88 o cv. Catimor 127), y concluyeron que estos dos marcadores estarían ligados a la región cromosómica que contiene un gen principal de resistencia a CBD, posiblemente el gen *T* descrito previamente por Van der Vossen y Walyaro (32). Además, según Gichuru *et al.* (12), la resistencia a CBD exhibida por las progenies del Híbrido de Timor que ellos evaluaron, se debe a un único fragmento introgresado. En el presente estudio, ambos marcadores (FR34-6ctg y CMA276) detectaron fragmentos que permitieron diferenciar algunos individuos emparentados con el Híbrido de Timor (por ejemplo, Iapar 59, DG1399 y Ruiru11) de otros individuos resistentes incluidos en el estudio; por lo tanto, estos resultados confirman que los dos SSR pueden ser usados para seleccionar materiales que presenten resistencia a CBD proveniente del Híbrido de Timor.

Los microsatélites FR34-6ctg y CMA276 serán útiles para establecer el genotipo de progenies  $F_2$  obtenidas al cruzar progenitores resistentes a CBD, y posiblemente para explicar por qué algunos individuos son resistentes a más de un aislamiento del patógeno al realizar las pruebas de inoculación de hipocótilos. Este aspecto se hace evidente observando la segregación detectada en los individuos  $F_2$  evaluados en la fase de validación, que son el producto de los cruces entre progenitores portadores del gen *T* y *R* (Figuras 1c, 2c y 3c). Actualmente, estos individuos están siendo evaluados en el CIFC; por lo tanto, el análisis complementario de la constitución genotípica y los datos de resistencia de cada material permitiría la comprensión de las diferencias de resistencia y la planeación de cruces que fomenten la piramidación de alelos

que confieran resistencia a CBD. De todos modos, la etapa posterior de comprobación de la resistencia de estos materiales inevitablemente implica la evaluación en el campo.

Lashermes *et al.* (17), obtuvieron evidencias de la introgresión del genoma de *C. arabica* utilizando marcadores SSR y AFLP en una población  $F_2$ , que fue obtenida cruzando un derivado del Híbrido de Timor y un silvestre etíope. Estos autores observaron que: 1) el polimorfismo detectado por el microsatélite Sat227 era consistente con una introgresión desde el genoma de *C. canephora* y 2) que este SSR estaría asociado a una región cromosómica portadora de un gen de resistencia a roya. Una explicación que permite conjugar todas estas observaciones reside en el hecho que los genes de resistencia a enfermedades de los genomas vegetales tienden a estar agrupados. Se puede asumir que el microsatélite Sat227 estaría cercano a una región cromosómica que contiene genes que confieren resistencia a roya y CBD.

Generalmente, los marcadores moleculares no son polimórficos en todas las poblaciones de mapeo; por lo tanto, es muy valioso identificar marcadores alternativos para otros materiales genéticos. En este contexto, los resultados de este trabajo indican que los microsatélites CMA276 y Sat227 pueden convertirse en una herramienta muy útil para identificar resistencia en materiales silvestres de origen etíope. Estos dos marcadores han sido evaluados exitosamente en la población  $F_2$  tetraploide (Caturra x CCC1146) que Cenicafé está usando para construir el mapa genético de *C. arabica*. Lo anterior permitirá la identificación de otros microsatélites que estén ligados a CMA276 y Sat227 para evaluarlos en los materiales cuya resistencia haya sido evaluada en el CIFC, y determinar si aquellos microsatélites también podrían usarse como herramienta en la selección de

materiales etíopes del banco de germoplasma de Cenicafé que portarían resistencia a CBD. Para cualquier programa de mejoramiento es de particular importancia identificar marcadores moleculares asociados a los tres genes de resistencia a CBD que han sido reportados (32), y a aquellos que potencialmente se encuentren en germoplasma exótico (por ejemplo, accesiones etíopes).

**Selección Asistida por Marcadores en Cenicafé.** La SAM es una estrategia que cambia el criterio de selección de fenotipos por la selección directa o indirecta de genes. El éxito de la aplicación de la SAM depende de factores como la base genética de la característica de interés, la distancia entre el marcador y el gen de interés, y el número de individuos que pueden evaluarse, entre otros. La SAM ha sido usada para seleccionar características de herencia simple, porque la asociación fenotipo-genotipo es más fácil de establecer con características monogénicas u oligénicas con heredabilidad alta que con características poligénicas (QTL, sus siglas en inglés: *Quantitative Trait Loci*). Sin embargo, la disponibilidad de marcadores moleculares y mapas genéticos han convertido a la SAM en una estrategia viable, tanto para rasgos controlados por genes mayores como para los QTLs (31).

La utilización de la SAM para preseleccionar materiales con resistencia a CBD se ve favorecida porque la resistencia a esta enfermedad está gobernada por tres genes (*R*, *T* y *K*), aunque el número de genes que controlan la resistencia a CBD es tema recurrente de debate entre los especialistas. Esta estrategia es particularmente aplicable para Cenicafé, debido a que la institución cuenta con un mapa genético de *C. arabica*, que facilitaría la identificación de regiones QTL asociadas a resistencia a CBD. Debido a la naturaleza de los microsatélites, la

implementación de la SAM aumentará la confiabilidad del proceso de preselección de materiales resistentes y reducirá sus costos; además, disminuirá el tiempo necesario para la ejecución de esta etapa y lo que es más importante, se podría hacer selección por resistencia a una enfermedad que no está en el país. Esto augura que la aplicación de esta estrategia optimizará el proceso de selección que actualmente realiza Cenicafé.

Finalmente, puede concluirse:

Este estudio validó la presencia de dos microsatélites previamente reportados como asociados a la resistencia a CBD y uno nuevo, Sat227. Estos microsatélites son potencialmente útiles para la selección precoz de genotipos resistentes a CBD, debido a que consistentemente detectaron bandas que estarían asociadas a resistencia, así: 1) FR34-6ctg y CMA276 presentaron bandas asociadas a resistencia derivada del Híbrido de Timor; 2) CMA276 y Sat227 detectaron bandas que presumiblemente estarían asociadas a un nuevo alelo de resistencia presente en las introducciones silvestres de Etiopía; y 3) Sat227 presentó bandas asociadas a resistencia proveniente de Sudán Rume y el Híbrido de Timor.

La utilidad de los tres microsatélites (FR34-6ctg, CMA276 y Sat227) que se seleccionaron en este estudio será confirmada utilizando un conjunto más grande de genotipos del banco de germoplasma de Cenicafé, tanto silvestres como derivados del Híbrido de Timor, cuya resistencia a CBD haya sido confirmada mediante pruebas de hipocótilos en el CIFIC.

Así mismo, se buscará asociar los marcadores a los diferentes aislamientos del patógeno, especialmente a aquellos que han sido reportados como los de mayor patogenicidad

(por ejemplo, aislamientos de Camerún), para seleccionar genotipos de la colección silvestre de Etiopía como progenitores en el desarrollo de variedades resistentes a CBD, y para tenerlos en cuenta durante la conformación de la colección núcleo del banco de germoplasma de Cenicafé.

Alternativamente, se plantea combinar la información de los mapas genético y físico de Cenicafé para identificar los clones de la librería genómica de Cenicafé (BAC, sus siglas en inglés: *Bacterial Artificial Chromosome*) que contengan las regiones cromosómicas a las cuales pertenecen estos microsatélites, y posteriormente secuenciar o caracterizar la región que potencialmente contenga gen(es) de resistencia asociado(s) a estos marcadores.

El presente estudio representa el primer intento realizado en Colombia para utilizar una metodología molecular que permita seleccionar precozmente materiales que sean portadores de resistencia a CBD. La identificación de microsatélites asociados a resistencia a CBD es de gran importancia en el programa de mejoramiento de Cenicafé porque permitirá hacer evaluaciones en ausencia del patógeno. Por lo tanto, el presente estudio debe ser considerado el punto de partida para: 1) la identificación de otras fuentes de resistencia a CBD; 2) la ampliación de la base genética usada por el programa de mejoramiento de Cenicafé, y 3) el fomento del uso de la Colección de Colombiana de Café de Cenicafé.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó en el marco de un convenio de Cooperación Técnica y Científica entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia

y la Federación Nacional de Cafeteros (Federacafé). Los autores agradecen a Jairo Jaramillo y Carlos Augusto Vera, por su apoyo en la selección, identificación y recolección de los materiales evaluados.

## LITERATURA CITADA

1. AGRAMA, H.A.; DAHLEEN, L.; WENTZ, M.; JIN, Y.; STEFFENSON, B. Molecular mapping of the crown rust resistance gene *Rpc1* in barley. *Phytopathology* 94(8):858-861. 2004.
2. AGWANDA, C.O.; LASHERMES, P.; TROUSLOT, P.; COMBES, M.; CHARRIER, A. Identification of RAPD markers for resistance to coffee berry disease, *Colletotrichum kahawae*, in Arabica coffee. *Euphytica* 97(2):241-248. 1997.
3. BIEYSSE, D.; MANGA, B.; MOUEN B., J.A.; NDEUMENI, J.P.; ROUSSEL, V.; FABRE, J.V.; BERRY, D. Coffee berry disease: A potential threat to Arabica coffee growing worldwide. p. 153-156. En: BERRY, D. *Recherché et caféiculture*. Montpellier : CIRAD : CP, 2002. 156 p.
4. BELLA, M.; BIEYSSE, D.; MOUENB., J.A.; AKALAY, I.; BOMPARD, E.; BERRY, D. Observations sur la diversité de la population de *Colletotrichum kahawae* agent de l'antracnose des baies du caféier Arabica: Implications pour l'amélioration génétique. p. 604-612. En: *Colloque scientifique international sur le café* (17 : Juillet 20-25 1997 : Nairobi). Paris : ASIC, 1997. 828 p.
5. BRIDGE, P.D.; WALLER, J.M.; DAVIES, D.; BUDDIE, A.G. Variability of *Colletotrichum kahawae* in relation to other *Colletotrichum* species from tropical perennial crops and the development of diagnostic techniques. *Journal of phytopathology* 156(5):274-280. 2008.
6. COMBES, M.C.; ANDRZEJEWSKI, S.; ANTHONY, F.; BERTRAN, B.; ROVELLI, P.; GRAZIOSI, G.; LASHERMES, P. Characterization of microsatellite loci in *Coffea arabica* and related coffee species. *Molecular ecology* 9(8):1171-1193. 2000.
7. DERSO, E.; WALLER, J.M. Variation among *Colletotrichum* isolates from diseased coffee berries in Ethiopia. *Crop protection* 22(3):561-565. 2003.
8. DON, R.H.; COX, P.T.; WAINWRIGHT, B.J.; BAKER, K.; MATTICK, J.S. Touchdown PCR to circumvent

- spurious priming during gene amplification. *Nucleic acids research* 19(14):4008. 1991.
9. FANG, D.D.; STETINA, S.R. Improving cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plant resistance to reniform nematodes by pyramiding *Ren1* and *Ren2*. *Plant breeding* 130(6):673-678. 2011.
  10. FNC. Sistema de información cafetera: SICA. Bogotá: FEDERACAFÉ, 2012.
  11. GICHIMU, B.M.; OMONDI, C.O. Early performance of five newly developed lines of Arabica coffee under varying environment and spacing in Kenya. *Agriculture and biology journal of North America* 1(1):32-39. 2010.
  12. GICHURU, E.K.; AGWANDA, C.O.; COMBES, C.; MUTITU, E.W.; NGUGI, C.K.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P. Identification of molecular markers linked to a gene conferring resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in *Coffea arabica*. *Plant pathology* 57(6):1117-1124. 2008.
  13. GONZÁLEZ M., L.F.; CORTINAG., H.A.; HERRERA P., J.C. Validación de marcadores moleculares ligados al gen *SH3* de resistencia contra la roya en introducciones de la colección colombiana de café. *Cenicafé* 60(4):374-389. 2009.
  14. GOWDA, S.J.M.; RADHIKA, P.; KADDOO, L.B.; MHASE, L.B.; GUPTA, V.S. Molecular mapping of wilt resistance genes in chickpea. *Molecular breeding* 24(2):177-183. 2009.
  15. HINDORF, H.; OMONDI, C.O. A review of three major fungal diseases of *Coffea arabica* L. in the rainforests of Ethiopia and progress in breeding for resistance in Kenya. *Journal of advanced research* 2(2):109-120. 2011.
  16. KAMESWARA R., K.; JENA, K.K.; LAKSHMI, M. Molecular tagging of a new bacterial blight resistance gene in rice using RAPD and SSR markers. *International rice research notes* 28(1):16-17. 2003.
  17. LASHERMES, P.; COMBES, M.C.; ANSALDI, C.; GICHURU, E.; NOIR, S. Analysis of alien introgression in coffee tree (*Coffea arabica* L.). *Molecular breeding* 27(2):223-232. 2011.
  18. LÓPEZ, G.; CORTINA G., H.A.; McCOUCH, S.; MONCADA B., M. DEL P. Analysis of genetic structure in a sample of coffee (*Coffea arabica* L.) using fluorescent SSR markers. *Tree genetics and genomes* 5(3):435-446. 2009.
  19. MAHÉ, L.; COMBES, M.C.; VARZEA, V.M.; GUILHAUMON, C.; LASHERMES, P. Development of sequence characterized DNA markers linked to leaf rust (*Hemileia vastatrix*) resistance in coffee (*Coffea arabica* L.). *Molecular breeding* 21(1):105-113. 2008.
  20. MANUEL, L.; TALHINHAS, P.; VARZEA, V.M.; NEVES M., J. Characterization of *Colletotrichum kahawae* isolates causing coffee berry disease in Angola. *Journal of phytopathology* 158(4):310-313. 2010.
  21. MASABA, D.; WALLER, J.M. Coffee berry disease: The current status. p. 237-249. En: BALEY, J.A.; JEGER, M.J. *Colletotrichum: Biology, pathology and control*. Wallingford : CAB International, 1992. 388 p.
  22. MONCADA B., M. DEL P.; McCOUCH, S. Simple sequence repeat diversity in diploid and tetraploid *Coffea* species. *Genome* 47(3):501-509. 2004.
  23. OMONDI, C.O.; AYIECHO, P.O.; MWANG'OMBE, A.W.; HINDORF, H. Resistance of *Coffea arabica* cv. Ruiru 11 tested with different isolates of *Colletotrichum kahawae*, the causal agent of coffee berry disease. *Euphytica* 121(1):19-24. 2001.
  24. OMONDI, C.O.; PINARD, F. Screening populations of Arabica coffee for molecular markers linked to coffee berry disease resistance. [cd rom]. p. 1377-1379. En: *Colloque scientifique international sur le café* (21 : September 11-15 2006 : Montpellier). Paris : ASIC, 2007.
  25. PENG, J.H.; FAHINA, T.; RODER, M.S.; LI, Y.C.; DAHAN, A.; GRAMA, A.; RONIN, Y.I.; KOROL, A.B.; NEVO, E. Microsatellite tagging of the stripe-rust resistance gene *YrH52* derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, and suggestive negative crossover interference on chromosome 1B. *Theoretical and applied genetics* 98(6/7):862-872. 1999.
  26. PONCET, V.; HAMON, P.; MINIER, J.; CARASCO, C.; HAMON, S.; NOIROT, M. SSR cross-amplification and variation within coffee trees (*Coffea* spp.). *Genome* 47(6):1071-1081. 2004.
  27. SILVA, M.C.; VÁRZEA, V.; GUERRA G., L.; AZINHEIRA, H.G.; FERNANDEZ, D.; PETITOT, A.S.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main diseases: Leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian journal of plant physiology* 18(1):119-147. 2006.

28. SILVA, D.N.; TALHINHAS, P.; VARZEA, V.; LOUREIRO, A.; SILVA, M.C.; PAULO, O.S.; BATISTA, D. Population structure of *Colletotrichum kahawae*, the causal agent of coffee berry disease (CBD): Insights from a multi-locus approach. [Cd rom]. p. 604-612. En: Colloque scientifique international sur le café (23 : October 3-8 2010 : Indonesia). Paris : ASIC, 2011.
29. SREENIVASAPRASAD, S.; BROWN, A.; MILLS, P.R. Coffee berry disease pathogen in Africa: Genetic structure and relationship to the group species *Colletotrichum gloeosporioides*. Mycological research 97(8):995-1000. 1993.
30. TERESSA, A.; CROUZILLAT, D.; PETIARTD, V.; BROUHAN, P. Genetic diversity of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) collections. Ethiopian journal of applied sciences and technology 1(1):63-79. 2010.
31. TORRES, A.M.; AVILA, C.M.; GUTIERREZ, N.; PALOMINO, C.; MORENO, M.T.; CUBERO, J.I. Marker-assisted selection in faba bean (*Vicia faba* L.). Field crops research 115(3):243-252. 2010.
32. VAN DER V., H.A.M.; WALYARO, D.J. Breeding for resistance to coffee berry disease in *Coffea arabica* L.: Inheritance of the resistance. Euphytica 29(3):777-791. 1980.
33. VAN DER V., H.A.M.; WALYARO, D.J. Additional evidence for oligogenic inheritance of durable host resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). Euphytica 165(1):105-111. 2009.
34. WANG, L.M.; ZHANG, Z.Y.; LIU, H.J.; XU, S.C.; HE, M.Z.; LIU, H.X.; VEISZ, O.; XIN, Y. Identification, gene postulation and molecular tagging of a stripe rust resistance gene in synthetic wheat CI142. Cereal research communications 37(2):209-215. 2009.

# EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A *Ceratocystis colombiana* Y *Ceratocystis papillata* EN GENOTIPOS DE CAFÉ

Bertha Lucía Castro Caicedo\*; Hernando A. Cortina Guerrero\*.

---

## RESUMEN

CASTRO C., B.; CORTINA G., H. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis colombiana* y *Ceratocystis papillata* en genotipos de café. *Cenicafé* 63 (2): 23-30. 2012

La llaga macana atribuida a *Ceratocystis colombiana* y *C. papillata* ocasiona pérdidas importantes en la caficultura colombiana, debido a la muerte de plantas en cualquier estado de su desarrollo. Entre las estrategias para prevenir la enfermedad está la búsqueda y selección de fuentes de resistencia que permitan generar variedades comerciales de café con dicha resistencia. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de genotipos de café a inoculaciones de *Ceratocystis* spp. Se incluyeron seis accesiones de *Coffea canephora* (Can), cinco de *C. liberica* (Lib) y el Híbrido de Timor (HdT/1343). Como testigos susceptibles se utilizaron plantas de *C. arabica* var. Caturra y var. Colombia. Bajo un diseño completamente aleatorio, la unidad experimental consistió de diez plantas y tres repeticiones por cada genotipo. Las plantas se sembraron en bolsas plásticas y se ubicaron a la intemperie. A la edad de 21 meses, se realizó la inoculación de *Ceratocystis colombiana* y *C. papillata*, depositando una suspensión de ascosporas en una herida en el tallo de cada planta. Un año después de la inoculación se evaluó la supervivencia de las plantas, midiendo además el área de la lesión causada por el patógeno en el tallo. En Can y Lib no hubo muerte de plantas, mientras el 88% y 90% de plantas en el HdT sobrevivieron a las inoculaciones de *C. colombiana* y *C. papillata*, respectivamente. Todas las plantas de Caturra y var. Colombia murieron al ser anilladas por la lesión. Los resultados demuestran una clara oportunidad del uso del mejoramiento genético para reducir el daño ocasionado por *Ceratocystis* en café.

**Palabras clave:** Resistencia genética, llaga macana, *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, *Coffea liberica*, Híbrido de Timor.

---

## ABSTRACT

Coffee stem canker disease caused by *Ceratocystis colombiana* and *C. papillata* result in significant losses to the Colombian coffee industry due to the death of plants at all stages of development. Among the available strategies to prevent the disease, selection of resistant genotypes is the most important. The aim of this study was to assess the responses of accessions of *Coffea canephora*, *C. liberica* and Timor Hybrid (TH) to infection by *Ceratocystis* spp. Susceptible *C. arabica* var. Caturra and var. Colombia plants were included as controls. Plants were artificially inoculated with the pathogens using ascospore suspensions applied to stem wounds. One year after inoculation, plants were assessed for mortality and lesion development. There was no mortality of *C. canephora* and *C. liberica* plants and there was an 88 to 90% survival of plants in TH inoculated with *C. colombiana* and *C. papillata* respectively. All var. Colombia and Caturra plants died due to girdling of their stems by the test pathogens. These results show that there is substantial opportunity to reduce the damage caused by *Ceratocystis* stem canker through breeding and deployment of resistant cultivars.

**Keywords:** Breeding, *Ceratocystis fimbriata*, *Coffea canephora*, *Coffea liberica*, fungal disease, genetic resistance, Timor Hybrid.

---

\* Investigador Científico II, Disciplinas de Fitopatología y Mejoramiento Genético, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Actualmente, el café se cultiva en más de 70 países ubicados en el trópico, con una área de aproximadamente 11 millones de hectáreas en el mundo. En su mayoría, las áreas dedicadas a café corresponde a pequeños productores, quienes cultivan diferentes variedades, incluidas las dos principales especies de *Coffea arabica* L. y *C. canephora* Pierre (21). Estas dos especies de café se consideran importantes, no solo en la producción de la bebida de mayor consumo en el mundo, sino por sus características genotípicas como fuentes de resistencia a plagas y enfermedades y su tolerancia a la sequía y adaptabilidad a diferentes condiciones de clima, suelo y métodos de cultivo, como es el caso de *C. canephora* (20, 33).

A nivel mundial, las variedades comerciales de café hacen parte de tres especies, a saber: *Coffea arabica*, tetraploide ( $2n=4x=44$  cromosomas) y autocompatible, la cual es responsable por el 70% de la producción mundial; *C. canephora*, diploide ( $2n=2x=22$  cromosomas), que produce el 30% del café en el mundo; y *C. liberica* Bull: Hiern, también diploide ( $2n=22$ ), autoestéril y de menor área cultivada.

De otra parte está el Híbrido de Timor (HdT), un *C. arabica*, tetraploide ( $2n=4x=44$  cromosomas), el cual se considera autofértil y se originó mediante la hibridización natural entre *C. arabica* y *C. canephora* (4). Existen diferentes accesiones o introducciones de HdT, en diferentes países cafeteros, incluyendo Colombia, las cuales se han desarrollado a través del Centro de Investigaciones de la Roya del Cafeto (*Coffee Rust Research Center-CIFC*) en Portugal. Entre estas introducciones de HdT están: CIFC 832/1, CIFC 832/2, CIFC 1343 y CIFC 2570, las cuales se han usado en programas de mejoramiento para producir las más valiosas variedades de café con resistencia principalmente a la enfermedad

más importantes del café, como es la roya anaranjada de la hoja, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome (2, 8, 17, 25, 32).

Además de la roya, existen otras enfermedades de importancia en café, entre las cuales están, el cáncer del tronco o llaga macana, ocasionada por especies del hongo habitante del suelo *Ceratocystis* spp. El género *Ceratocystis* fue registrado inicialmente causando pudrición de raíces en batata (*Ipomoea batatas* L.) en 1890 en New Jersey (Estados Unidos), siendo descrito por Halsted en 1980. A pesar de que, *Ceratocystis fimbriata* Halsted & Hunt. fue ampliamente aceptado desde 1950, su clasificación taxonómica ha causado controversia entre varios autores, debido principalmente a su amplio rango de hospedantes a nivel mundial (29, 36).

En café, la enfermedad denominada cáncer se observó por primera vez en Indonesia y fue descrita por Zimmerman en 1980, como *Rostrella coffea*. Posteriormente, Obregón (26) la denominó “mal de tinta” debido a los síntomas observados en plantas de café en Colombia. Pontis (27) describió una enfermedad similar en cafetos en Venezuela y Colombia, atribuyéndole el daño a *Ceratocystis fimbriata*. Castaño (6,7) y Fernández (18), la mencionan como “llaga macana” en cafetales de Colombia. Esta enfermedad está presente en *C. arabica* en otros países como Costa Rica, Cuba, Guatemala, India y Surinam (3). A partir de aislamientos de *Ceratocystis fimbriata* (*sensu lato*) recolectados tanto en plantas como en suelo de la zona cafetera colombiana, Marín *et al.* (24) realizaron estudios moleculares que permitieron determinar dos linajes filogenéticos en la población recolectada, los cuales fueron detalladamente estudiados por Van Wyk *et al.* (34). Mediante análisis morfológicos y moleculares de aislamientos

obtenidos no solo de café si no también de otros hospedantes como cacao, cítricos y árboles forestales, estos autores confirmaron los dos linajes incluidos en el complejo *Ceratocystis fimbriata* (s.l.). Estas especies nuevas son *Ceratocystis colombiana* Van Wyk & Wingf. y *C. papillata* Van Wyk & Wingf.

En Colombia, la llaga macana puede llegar a causar entre un 20% a 50% de mortalidad, reduciendo significativamente la productividad de los cafetales (10). Entre las prácticas de control está el control preventivo, mediante la aplicación de fungicidas, principalmente durante el zoqueo (9, 13). No obstante, existen otros factores que propician el ingreso del patógeno en la planta, como son las heridas ocasionadas en la base del tallo por el apoyo de los trabajadores, especialmente en cafetales localizados en topografía pendiente (9). En este caso el manejo del problema no es fácil, considerando además que *Ceratocystis* es un microorganismo habitante de todos los suelos de la zona cafetera colombiana (24).

La resistencia genética es la mejor alternativa para contrarrestar el daño ocasionado por la llaga macana del cafeto. Entre las fuentes de resistencia a este patógeno en café está la mencionada por Fernández (18) en una línea de la variedad *C. arabica* var. Borbón. Dicha resistencia está relacionada con la formación de tejidos de cicatrización que se forman alrededor de la lesión del patógeno, impidiendo su avance (11, 18). Una posible “inmunidad” es mencionada por Echandi y Fernández (16), Schieber y Echandi (31) e Izquierdo (22) en *Coffea canephora* y *C. liberica*. En este caso, los autores sugieren que dicha reacción de resistencia puede estar relacionada con altos niveles de compuestos fenólicos presentes en estas especies, en comparación con las plantas susceptibles de *C. arabica*.

Con base en la resistencia a *Ceratocystis* sp. aparentemente presente en algunas accesiones de *C. canephora*, Castro *et al.* (12) confirmaron dicha resistencia en plantas de *C. arabica* var. Colombia las cuales se injertaron sobre un patrón de *C. canephora*. Recientemente Castro *et al.* (14) evaluaron la resistencia a *Ceratocystis colombiana* y *C. papillata* en híbridos interespecíficos (F4), producto del cruzamiento entre accesiones de *C. canephora* con Caturra. En este caso se obtuvieron progenies avanzadas con doble resistencia tanto a roya como a llaga macana.

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la respuesta de resistencia a especies de *Ceratocystis* en algunas accesiones de *C. canephora*, *C. liberica* y en el Híbrido de Timor (CIFC/1343).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en La Granja de Cenicafé (Manizales, Caldas), localizada a 5° de latitud N y 75°36' longitud Oeste, a 1.310 m de altura, temperatura media de 21,0°C, precipitación anual de 2.560 mm, humedad relativa promedio de 77,1% y brillo solar anual de 1.751 horas (15).

En el estudio se incluyeron seis accesiones de *Coffea canephora*, cinco de *C. liberica*, y el Híbrido de Timor CIFC/1343. Como testigos se incluyeron plantas de var. Caturra y var. Colombia. La semilla de los genotipos en estudio se obtuvo de la Colección Colombiana de Café de Cenicafé, ubicada en la Estación Central Naranjal, en Chinchiná (Caldas). Las plantas se sembraron en bolsas plásticas de 22 cm de ancho por 35 cm de largo, con capacidad de 5 kg de suelo y se ubicaron en un lote a plena exposición, proporcionándoles los cuidados requeridos de fertilización y limpieza de arvenses.

Cuando las plantas alcanzaron 21 meses de edad se realizó la inoculación de los hongos *Ceratocystis* colombiana (aislamiento CMW5768) y *C. papillata* (aislamiento CMW10844), correspondientes al estudio de Van Wyk *et al.* (34). Para la reactivación de los aislamientos, se siguió la metodología de Castro y Cortina (11), utilizando trozos de tallos tiernos de café descortezados, dispuestos en cámaras húmedas en cajas de Petri esterilizadas, inoculando dichos tallos, hasta la obtención de abundantes peritecios con masas de ascosporas. La preparación del inóculo consistió en transferir masas de ascosporas en viales con agua destilada estéril, suplementada con  $0,06 \text{ mL.L}^{-1}$  del surfactante Triton® X100 (Sigma Saint Louis Missouri, USA). Esta suspensión se sometió a ultrasonido (Branson Ultrasonic cleaner/2510), a una frecuencia de 40 kHz durante 30 segundos. La concentración de esporas se determinó con el hemacitómetro, a  $7,0 \times 10^4$  por mL.

La inoculación se realizó haciendo una herida en forma de U invertida (de 1,5 cm) sobre el tallo de la planta, a una altura aproximada de 10 cm del suelo, utilizando la punta de una navaja. Con una micropipeta, se depositó una gota de 50  $\mu\text{L}$  de la suspensión del patógeno, levantando levemente la corteza, para que quedara en contacto con el floema de la planta. Durante 15 días, la herida se cubrió con algodón humedecido y cinta de papel Parafilm® (Pechiney Plastic Packaging, Chicago, IL), según método de Castro y Cortina (11). Al retirar dicha cámara húmeda se verificó visualmente la colonización del patógeno, observando la coloración negra y de consistencia carbonosa, correspondiente a macroconidias del patógeno, según descripción de Castaño (6) y Fernández (18).

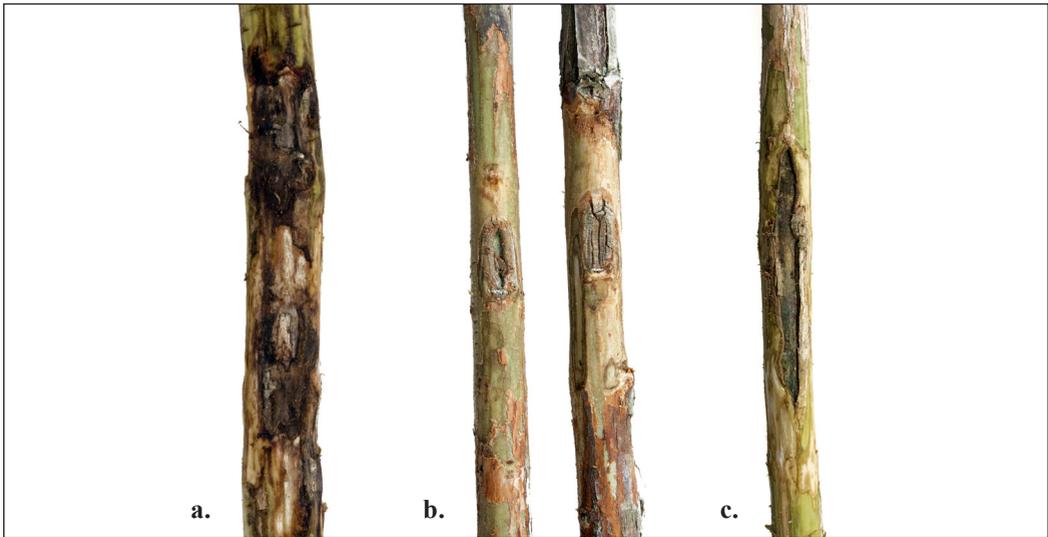
Se establecieron dos experimentos simultáneamente para cada especie de *Ceratocystis*. En cada uno se utilizó un

diseño experimental completamente aleatorio, siendo la unidad experimental de diez plantas y tres repeticiones por cada genotipo.

La evaluación de resistencia o susceptibilidad a *Ceratocystis* spp. se realizó durante los meses de abril de 2011 hasta abril de 2012. Las plantas se monitorearon mensualmente para observar síntomas externos de amarillamiento, marchitamiento o muerte de las plantas. Después de 4 meses la inoculación se realizó una observación del desarrollo de la lesión en el punto de inoculación de los patógenos, y después de un año de la inoculación se realizó la evaluación final, midiendo en cada planta el área de la lesión característica del patógeno, así como las plantas muertas. De acuerdo con el método de Castro y Cortina (11) se midió la circunferencia del tallo (CT), ancho (AL) y longitud de la lesión necrótica (LL) en el floema de cada planta. El avance transversal de la lesión causada por el patógeno se expresó como el grado de anillamiento (GA), dado por la relación  $\text{AL/CT} \times 100$ . Los datos se analizaron mediante un ANOVA y prueba de F ( $p < 0,01$ ), utilizando el *Statistical Software 9.2.* (30). Como complemento se observó la presencia o ausencia de tejidos de cicatrización o callo cubriendo la lesión del patógeno en cada planta.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los síntomas de amarillamiento y marchitamiento de las plantas inicialmente se observaron en plantas de var. Caturra y var. Colombia, de 3 a 4 meses después de la inoculación. A los 6 meses, todas las plantas de estas variedades murieron por efecto de los dos patógenos. En estas plantas las lesiones necróticas avanzaron longitudinal y transversalmente, anillando completamente el tallo (GA= 100%), (Figura 1a y Tabla 1).



**Figura 1.** Diferentes reacciones de susceptibilidad/resistencia a llaga macana en genotipos de café, un año después de la inoculación de *Ceratocystis colombiana* y *C. papillata*. **a.** Reacción de susceptibilidad en tallos de plantas de *C. arabica* var. Caturra y var. Colombia, en los cuales la lesión avanzó longitudinal y transversalmente. **b.** Reacción de resistencia observada en las accesiones de *C. liberica*, en la mayoría de accesiones de *C. canephora* y en algunas plantas del Híbrido de Timor. En estos casos no hubo desarrollo de la lesión. **c.** Reacción de resistencia observada en algunas accesiones de *C. canephora*, en donde hubo avance longitudinal de la lesión pero no hubo anillamiento del tallo, evitando la muerte de las plantas.

Después de un año después de la inoculación ninguna de las plantas de las accesiones de *C. liberica* había muerto, notándose tejidos de cicatrización en el sitio de inoculación, sin avance de la lesión del patógeno (Figura 1b y Tabla 1). En algunas plantas de *C. canephora* las lesiones avanzaron durante los primeros 4 meses después de la inoculación; sin embargo, ninguna planta murió al final de la evaluación (Figura 1b y Tabla 1). En algunas plantas de *C. canephora* var. Ugandae CCC 712, *C. canephora* CCC 962 y *C. canephora* CCC 1015 se observaron lesiones alargadas y angostas, pero la formación de callo impidió el anillamiento de las plantas (Figura 1c y Tabla 1). En estos casos el promedio de GA y LL fue de 3,5% y 0,85 cm, respectivamente, debido a la infección causada por *C. colombiana*. Mientras que plantas de *C. canephora* CCC1015 y CCC962

tuvieron un promedio de GA de 3,8% y LL de 0,85 cm, causada por *C. papillata*.

En el caso del HdT, el 12% y 10% de las plantas fueron anilladas y murieron por efecto de *C. colombiana* y *C. papillata*, respectivamente. El resto de las plantas de este híbrido mostraron reacciones de resistencia caracterizada por lesiones similares a las observadas en *C. canephora* (Figura 1b). Un año después de la inoculación las plantas del HdT resistentes presentaron un promedio de GA de 7,2% y 0,5 cm de LL causado por *C. colombiana*, y 8,8% (GA) y 1,4 cm de LL causado por *C. papillata*. Tanto el GA como la LL observado en algunas plantas de *C. canephora* y en el HdT/1343 fueron estadísticamente diferentes a los testigos susceptibles Caturra y var. Colombia. Según la Prueba de Duncan

**Tabla 1.** Reacción de resistencia/susceptibilidad en genotipos de café, después de 1 año de la inoculación de *Ceratocystis colombiana* y *C. papillata*. Promedio de grado de anillamiento (GA) y largo de la lesión necrótica (LL) causada por los patógenos en el tallo.

Genotipo	<i>Ceratocystis colombiana</i>		<i>Ceratocystis papillata</i>	
	GA (%) ( $\bar{X} \pm DS$ )	LL (cm) ( $\bar{X} \pm DS$ )	AL (%) ( $\bar{X} \pm DS$ )	LL (cm) ( $\bar{X} \pm DS$ )
<i>C. liberica</i> CCC 1025	0	0	0	0
<i>C. liberica</i> CCC 1029	0	0	0	0
<i>C. liberica</i> CCC1033	0	0	0	0
<i>C. liberica</i> CCC1035	0	0	0	0
<i>C. liberica</i> CCC 1022	0	0	0	0
<i>C. canephora</i> CCC 1006	0	0	0	0
<i>C. canephora</i> CCC 978	0	0	0	0
<i>C. canephora</i> CCC 980	0	0	0	0
<i>C. canephora</i> (var. Uganda CCC712)	4,1 ± 11,4 b	2,1 ± 5,4 b	0	0
<i>C. canephora</i> CCC 962	1,7 ± 6,4 b	0,3 ± 1,3b	2,0 ± 6,3 c	0,3 ± 1,2 b
<i>C. canephora</i> CCC 1015	4,8 ± 10,5 b	0,9 ± 2,1b	5,6 ± 11,0 bc	1,4 ± 2,6 b
Híbrido de Timor 1343	7,2 ± 14,6 b	0,5 ± 0,9 b	8,8 ± 20,9 b	1,4 ± 2,7 b
<i>C. arabica</i> var. Colombia	100,0a	17,5 ± 4,8 a	100,0 a	13,6 ± 5,0 a
<i>C. arabica</i> var Caturra	100,0 a	16,2 ± 5,9 a	100,0a	12,3 ± 3,9 a

$\bar{X}$ : Promedios, DS: desviación estándar.

(5,0%), no se observaron diferencias entre los genotipos que mostraron resistencia a los dos patógenos. En las plantas de las variedades testigo no se observó desarrollo de tejidos de cicatrización.

La formación de tejidos de cicatrización o callo al igual que la ausencia de lesiones en el punto de inoculación de *Ceratocystis* sp., en las plantas de *C. canephora* y *C. liberica* y en algunas plantas de H de T, fue la mejor evidencia de resistencia a los patógenos. Otro resultado importante fue la resistencia observada en la mayoría de las plantas del HdT, lo cual indica que este híbrido puede portar genes de resistencia posiblemente conferidos por *C. canephora*, que es uno de sus progenitores. Durante el desarrollo del experimento, desde la inoculación hasta la evaluación final, se presentaron las siguientes condiciones climáticas: 3.118 mm de precipitación, brillo solar total de 1.192 horas y humedad relativa promedio de 80%.

Los resultados de este estudio son de gran utilidad, no solo en lo que respecta a la búsqueda de fuentes de resistencia a llaga macana, sino también porque estos genotipos tienen gran posibilidad de ser también resistentes a roya, como ha sido demostrado por varios investigadores en accesiones de *C. liberica* y *C. canephora* (5, 35). Es de anotar que esta resistencia a roya en las especies diploides ha permitido ampliar los métodos de mejoramiento del café, en el desarrollo de variedades con genes de resistencia diferentes a los conferidos por el HdT. Estos métodos se basan en la incorporación de dichos genes a *C. arabica* lo cual confiere a las plantas mayor diversidad en la respuesta de resistencia a *H. vastatrix*, obteniéndose materiales mejorados y de mayor durabilidad en dicha resistencia (19, 23, 28, 33). Alvarado y Cortina (1) presentan resultados en generaciones avanzadas de híbridos interespecíficos (F4), derivadas del cruzamiento *C. canephora* y *C. arabica* var. Caturra retrocruzada con Caturra.

Estos híbridos, además de ser resistentes a roya, presentan atributos agronómicos y de calidad de grano promisorios para obtener variedades comerciales. De otra parte, la característica de resistencia a *Ceratocystis* fue obtenida por Castro *et al.* (12), en injertos de *C. arabica* var. Colombia sobre *C. canephora*, expuesto a condiciones de infección natural. Recientemente Castro *et al.* (14) estudiaron la respuesta de resistencia a *Ceratocystis* sp. y *H. vastatrix*, en interespecíficos entre *C. arabica* con *C. canephora*, encontrando progenies (F4) que combinan dicha resistencia. Por consiguiente los resultados encontrados en el presente trabajo corroboran la resistencia a *Ceratocystis* en las especies diploides.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los doctores Michael J. Wingfield y Jolanda Roux, Profesores del Forestry and Agricultural Biotechnology Institute (FABI), de la Universidad de Pretoria, Sur África. También a los auxiliares y personal de campo de las Disciplinas de Fitopatología y Mejoramiento Genético de Cenicafé.

### LITERATURA CITADA

- ALVARADO A., G.; CORTINAG., H.A. Comportamiento agronómico de progenies de híbridos triploides de *C. arabica* var Caturra X (Caturra x *C. canephora*). Cenicafé 48(2):73-91. 1997.
- ALVARADO A., G.; POSADA S., H.E.; CORTINA G., H.A. La variedad Castillo®: Una variedad de café *Coffea arabica* L. con elevada productividad y amplia resistencia a enfermedades. Fitotecnia colombiana 8(1):1-21. 2005.
- BAKER, C.J.; HARRINGTON, T.C.; KRAUS, U.; ALFENAS, A.C. Genetic variability and host specialization in the Latin American clade of *Ceratocystis fimbriata*. Phytopathology 93(10):1274-1284. 2003.
- BETTENCOURT, A.J. Considerações gerais sobre o híbrido do Timor. Campinas : Instituto agronomico de Campinas, 1973. 20 p. (Circular No. 23)
- BETTENCOURT, A.J.; CARVALHO, A. Melhoramento visado a resistencia do cafeeiro a ferrugem: Pesquisas em curso no Instituto agronomico de Campinas, Brasil, con a colaboração do Centro de investigaçãõ das ferrugens do cafeeiro, Oeiras. Portugal. Bragantia 27(4):35-68. 1968.
- CASTAÑO, J.J. Interpretación de los síntomas y signos de la enfermedad de la macana en café para el establecimiento de la diagnosis. Cenicafé 2(19):7-32. 1951.
- CASTAÑO, J.J. La llaga macana o cáncer del tronco y de los tallos del café. Chinchiná : Cenicafé, 1953. 26 p. (Boletín Técnico No. 10)
- CASTILLO Z., J.; MORENO R., G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Manizales : Cenicafé, 1988. 169 p.
- CASTRO C., B.L.; MONTOYA R., E.C. Evaluación de fungicidas para el control de *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. en café. Cenicafé 45(4):137-153. 1994.
- CASTRO C., B.L.; DUQUE O., H.; MONTOYA R., E.C. Pérdidas económicas ocasionadas por la llaga macana del café. Cenicafé 54(1):63-76. 2003.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A. Evaluación de resistencia a *Ceratocystis fimbriata* Ell. Halst. Hunt. en progenies F<sub>2</sub> de café Borbón resistente x Caturra. Cenicafé 60(2):115-125. 2009.
- CASTRO C., B.L.; CORTINAG., H.A.; SÁNCHEZA., P.M. Evaluación de injertos de café sobre patrones resistentes a *Ceratocystis fimbriata*. Cenicafé 61(1):46-54. 2011.
- CASTRO C., B.L.; ZULUAGA C.A. Evaluación de coadyuvantes para el control de Llagu macana (*Ceratocystis* sp.) en zocas de café. Fitopatología colombiana 36(1):27-32. 2012.
- CASTRO C., B.L.; CORTINA G., H.A.; ROUX, J.; WINGFIELD, J.M. New coffee (*Coffea arabica* L.) genotypes derived from *Coffea canephora* exhibiting high levels of resistance to leaf rust and Ceratocystis canker. Tropical plant pathology 38(6):485-494. 2013.
- CENICAFÉ. Anuario meteorológico. Chinchiná : Cenicafé, 359 p. 2012.

16. ECHANDI, E.; FERNÁNDEZ, C.E. Relation between chlorogenic acid contents and resistance to coffee canker incited by *Ceratocystis fimbriata*. *Phytopathology* 52:544-546. 1961.
17. ESKES, A.B.; HOOGSTRATEN, J.G.; BRAGHINI, T.M.; CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies and derivatives of híbrido de Timor. *Euphytica* 47(1):11-19. 1990.
18. FERNÁNDEZ B., O. Patogenicidad de *Ceratocystis fimbriata* y posible resistencia en café var. Borbón. *Cenicafé* 15(1):3-17. 1964.
19. HERRERA P., J.C.; ALVARADO A., G.; CORTINA G., H.A.; COMBES, M.C.; ROMERO G., G.; LASHERMES P. Genetic analysis of partial resistance to coffee leaf (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) introgressed into the cultivated (*Coffea arabica* L.) from the diploid *C. canephora* species. *Euphytica* 167:57-67. 2009.
20. HERRERA P., J.C.; CORTINA G., H.A.; ANTHONY, F.; PRAKASH, M.S.; LASHERMES, P.; GAITÁN B., A.L.; CRISTANCHO A., M.A.; ACUÑA S., J.R.; LIMA, D.R. Coffee *Coffea* sp. p. 595-646. En: SING, R.J. Medicinal plants: Genetic resources, chromosome engineering and crop improvement. Boca Raton : CCR Press, 2011.
21. ICO. [En línea]. Consultado en febrero de 2013.
22. IZQUIERDO, J.E. Comportamiento de genotipos de cafetos ante *Ceratocystis fimbriata*. *Ciencia y técnica en la agricultura; café y cacao* 10(1):53-59. 1988.
23. LASHERMES, P.; ANDRZEJEWSKIS; BERTRAND, B.; COMBES, M.C.; DUSSERT, S.; GRAZIOSI, G.; TROUSLOT, P.; ANTHONY, F. Molecular analysis of introgressive breeding in coffee (*Coffea arabica* L.). *Theoretical and applied genetic* 100:139-146. 2000.
24. MARÍN M., M.; CASTRO C., B.L.; GAITÁN B., A.L.; PREISIG, O.; WINGFIELD, B.D.; WINGFIELD, M.J. Relationships of *Ceratocystis fimbriata* isolates from colombian coffee-growing regions based on molecular data and pathogenicity. *Journal of phytopathology* 151(7/8):395-405. 2003.
25. MORENOR., L.G. Nueva variedad de café de porte alto resistente a la roya del café. *Cenicafé* 53(2):132-143. 2002.
26. OBREGÓN, B.R. Un amarillamiento del café: relación con el "Mal de tinta" "La macana". *Boletín agrícola* 9(219/220):725-732. 1936.
27. PONTIS, R.E. A canker disease of the coffee tree in Colombia and Venezuela. *Phytopathology* 41(2):179-184. 1951.
28. PRAKASH, N.S.; MARQUES, D.V.; VARZEA, V.M.; SILVA, M.C.; COMBES, M.C.; LASHERMES, P. Introgression molecular analyses of a leaf rust resistance gene from *Coffea liberica* into *C. arabica* L. *Theoretical and applied genetics* 109(6):1311-1317. 2004.
29. ROUX, J.; WINGFIELD, M.J. *Ceratocystis* species on the African continent, with particular reference to *C. albifundus*, an African species in the *C. fimbriata* sensu lato species complex. p. 131-139. En: SEIFERT, K.A.; WINGFIELD, M.J. *Ophiostomatoid fungi: Expanding frontiers*. Utrecht : CBS-KNAW biodiversity centre, 2013. 322 p.
30. SAS Statistical software SAS/STAT Users's Guide, Version 9.2. North Carolina : SAS Institute, 2010.
31. SCHIEBER, E.; ECHANDO, E. El cáncer de los cafetos en Guatemala provocado por *Ceratocystis fimbriata*. *Revista AGA* 3(39):20-21. 1961.
32. VAN DER V., H. State of the art of developing durable resistance to biotrophic pathogens in crop plants, such as coffee leaf rust. p. 1-29. En: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E.M.; PINTO, V.M. *Durable resistance to coffee leaf rust*. Viçosa : UFV, 2005.
33. VAN DER V., H. The cup quality of disease resistant cultivars of Arabica coffee (*Coffea arabica*). *Experimental agriculture* 45:323-332. 2009.
34. VAN W., M.; WINGFIELD, B.D.; MARIN, M.; WINGFIELD, M.J. New *Ceratocystis* species infecting coffee, cacao, citrus and native trees in Colombia. *Fungal diversity* 40:103-117. 2010.
35. WAGNER, M.; BETTENCOURT, A.J. Inheritance of reaction to *Hemileia vastatrix* Berk et Br. p. 1960-1965. En: WAGNER, M.; BETTENCOURT, A.J. *Coffea arabica* L. progress report. Oeiras : Coffee rust research center, {1971}.
36. WINGFIELD, B.D.; VAN W., M.; ROOS, H.; WINGFIELD, M.J. *Ceratocystis*: Emerging evidence for discrete generic boundaries. p. 57-64. En: SEIFERT, K.A.; WINGFIELD, M.J. *Ophiostomatoid fungi: Expanding frontiers*. Utrecht : CBS-KNAW biodiversity centre, 2013. 322 p.

# EVALUACIÓN POR RESISTENCIA A *Hypothenemus hampei* (Ferrari), EN POBLACIONES DERIVADAS DE CRUCES ENTRE CATURRA E INTRODUCCIONES ETÍOPES

Juan Vicente Romero\*; Liliana Jimena Bustamante-Giraldo\*; Hernando Alfonso Cortina-Guerrero\*\*;  
María del Pilar Moncada-Botero\*\*

## RESUMEN

**ROMERO, J.V.; BUSTAMANTE G., L.J.; CORTINA G., H.A.; MONCADA B, M del P. Evaluación por resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en poblaciones derivadas de cruces entre Caturra e introducciones etiopes. Revista Cenicafé 63(2): 31-49. 2012**

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari), es considerada la principal plaga café en Colombia. En este trabajo se muestra la respuesta a la broca en poblaciones F1 y F2, de los cruces entre *Coffea arabica* var. Caturra (susceptible) y dos introducciones etiopes, CCC363 y CCC534, que reducen la oviposición de la broca, como avance para el desarrollo de herramientas para la selección asistida por marcadores moleculares. En la F1 se evaluaron seis subpoblaciones del cruce con CCC363 y 11 con CCC534 y en la F2 dos y tres, respectivamente. Se evaluaron en el laboratorio, realizando crías de broca en café pergamino por 28 días, y en el campo infestando frutos en mangas entomológicas hasta los 60 días. Se evaluó el número de individuos de broca por grano de las progenies y los progenitores etiopes comparados con los de Caturra. En el laboratorio el promedio y desviación estándar de brocas por grano en Caturra fue de 38,9 (5,5), en CCC363 de 31,8 (4,1) y CCC534 31,9 (4,2), 20% menos que la variedad Caturra. En ambas F1 los promedios de las poblaciones fueron intermedios a los de sus progenitores, CxC363= 35,7 (5,2) y CxC534= 36,3 (5,4). Las F2 mostraron una distribución normal, segregación típica de un carácter cuantitativo, con una media de 32,4 (4,6) y 32,1 (4,1) y n=248 y 333 plantas, respectivamente. En el campo los promedios de las progenies y etiopes estuvieron por debajo de Caturra, aunque la variación fue amplia, por lo cual se presentaron pocas diferencias.

**Palabras clave:** Broca del café, antibiosis, resistencia genética, resistencia a insectos.

## ABSTRACT

The coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Ferrari), is considered a major pest of coffee in Colombia, affecting the income of farmers and altering the beverage quality. This paper shows the evaluation of response to coffee berry borer of F1 and F2 populations of crosses between *Coffea arabica* var. Caturra (susceptible) and two ethiopian accessions, CCC363 and CCC534 that reduce its oviposition, as progress in the development of tools for marker-assisted selection. In F1 six and 11 populations of crosses with CCC534 and CCC363 were assessed and in F2, two and three populations respectively. Laboratory evaluations were performed, developing coffee berry borer offspring on parchment coffee during 28 days, and on field infesting fruits inside entomological sleeves up to 60 days. The number of individuals of coffee berry borer per grain was evaluated on F1 and F2 populations and on the Ethiopian male parents compared with those of the female parent, Caturra (ANOVA and Dunnett 0.05). On laboratory the average and standard deviation of biological stages of borer per grain on Caturra was 38.9 (5.5), on CCC363 31.8 (4.1) and in CCC534 31.9 (4.2), 20% less than the Caturra variety. On both F1 the average of the populations were intermediate to those of its parents, CxC363 = 35.7 (5.2) and CxC534 = 36.3 (5.4). On F2 populations there was a normal distribution, typical segregation of a quantitative trait, with means of 32.4 (4.6) and 32.1 (4.1), and n = 248 and n=333 plants respectively. On field the mean of progenies was below Caturra, although the variation was wide, and therefore, there were few differences. It implies that the sample size should be is revised.

**Keywords:** Coffee berry borer, antibiosis, genetic resistance, insect resistance.

\* Investigador Asociado Disciplina de Mejoramiento Genético, Cenicafé.

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

En Colombia se cultivan variedades de café de la especie *Coffea arabica* L., que poseen alta producción y una calidad reconocida internacionalmente, pero altamente susceptibles al ataque de la broca, *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Esta plaga ataca específicamente frutos de especies del género *Coffea*, donde penetra hasta el endospermo, se refugia, se alimenta y se reproduce en su interior (4). Debido a estos hábitos, que hacen difícil su control, por encontrar disponibilidad de alimento durante todo el año (3), por su presencia a lo largo de toda la zona cafetera, por su efecto en la reducción de la producción, la pérdida de la calidad, el aumento de los costos de producción y la disminución del precio, la broca es considerada la principal plaga del cultivo en nuestro país (8).

La Federación Nacional de Cafeteros recomienda implementar un programa de manejo integrado para el control de la broca del café. Este programa incluye el uso de cafetales jóvenes, una buena y oportuna cosecha, repases después de la cosecha principal y de mitaca, controles biológicos y químicos con insecticidas de baja categoría toxicológica, cuando es necesario, (9). Un componente fundamental en este tipo de estrategias son las variedades resistentes, las cuales reducen el número de individuos por generación lo que disminuye el crecimiento de la población, que conlleva a la reducción de la frecuencia y el aumento de la eficiencia de los demás controles, manteniendo las plagas por debajo de los niveles de daño económico (1). Sin embargo, actualmente no se cuenta con una variedad resistente a la broca del café.

Por esto, con el objetivo de desarrollar variedades que contribuyan al control de la broca, la disciplina de Mejoramiento genético inició la búsqueda de fuentes de resistencia en la Colección Colombiana de

Café (CCC), que se encuentra establecida en la Estación Central Naranjal, en el municipio de Chinchiná. Desde 1992 Moncada (15) y en 1995 Cortina (10), iniciaron el proyecto de búsqueda de fuentes de resistencia a la broca del café, como primer paso en el desarrollo de variedades resistentes a la plaga. Se evaluaron variedades comerciales e introducciones silvestres en el campo y el laboratorio (7, 11, 21, 27), encontrado que en algunas introducciones de origen etíope, la broca reduce su oviposición hasta un 30%, comparada con el promedio en la variedad susceptible Caturra (20, 22).

A pesar de que la búsqueda no ha concluido, seis introducciones etíopes se han utilizado para hacer cruzamientos con las variedades Caturra y Castillo®, para el desarrollo de variedades resistentes a la broca. En el campo se encuentran más de 3.000 plantas de primera ( $F_1$ ) y segunda generación ( $F_2$ ), poblaciones que deben ser evaluadas y seleccionadas, para avanzar en generaciones hasta obtener líneas que hagan parte de la nueva variedad.

Actualmente, las evaluaciones se realizan en el laboratorio, con el método propuesto por Álvarez *et al.* (2), estableciendo crías en café pergamino seco en viales y contando el número de individuos bajo un estereoscopio. Este método exige un gran número de jornales y largos períodos de evaluación. En el campo se usan las mangas entomológicas (16), para infestar frutos artificialmente con adultos de broca y mantenerlas aisladas en una rama; sin embargo, requiere sincronía de la floración entre genotipos, para obtener unidades experimentales homogéneas. Ambos métodos están limitados por la disponibilidad de frutos para la oviposición de las hembras, y en períodos entre cosechas su eficiencia se reduce por falta de frutos y en cosecha la cantidad disponible es superior a la evaluable.

Adicionalmente, la obtención de variedades mejoradas de café de por sí es lenta y costosa, debido a que requiere alrededor de 20-25 años para su desarrollo. Por esta razón, la utilización de herramientas como el mapeo genético, que al ligar características de interés a regiones genómicas, permite realizar selección asistida por marcadores (SAM), abarcando gran número de individuos, sin estar sujeta a la necesidad de frutos, disminuyendo el tiempo y los costos de la selección.

Para realizar la SAM se necesita desarrollar una población segregante para el carácter de interés, en este caso la reducción de oviposición de broca, razón por la cual se hicieron cruzamientos entre Caturra y dos introducciones etíopes, CCC363 y CCC534. Posteriormente, por un lado se debe evaluar el carácter de interés sobre los individuos de la población segregante, y por el otro caracterizar la misma población, utilizando marcadores moleculares con diferencias en la secuencia de ADN de los progenitores (polimorfismos). Esto permitirá identificar marcadores ligados a la resistencia por co-segregación.

Dado que Cenicafé cuenta con un mapa genético, con marcadores distribuidos en 21 grupos de ligamiento, el siguiente paso es la caracterización de las poblaciones segregantes de los cruces entre la variedad susceptible Caturra y las dos introducciones etíopes mencionadas. Esto permitirá realizar análisis de ligamiento, para localizar las regiones del genoma responsables de la baja oviposición de la broca del café, con el objetivo de hacer selección asistida. El presente trabajo muestra los resultados de las evaluaciones a las poblaciones F1 y F2 de Caturra x CCC363, y Caturra x CCC534, en condiciones controladas y en el campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron plantas F1 y F2 de la especie *Coffea arabica* L., sembradas en la Estación Central Naranjal, ubicada en el municipio de Chinchiná (Caldas) a 4° 58' de latitud Norte, a 1.381 m de altitud, con una temperatura media de 21°C, humedad relativa de 77,55% y un promedio de la precipitación anual de 2.782 mm.

Como progenitor susceptible se utilizó la variedad Caturra, introducida a Colombia en 1952 procedente del Brasil, originada por una mutación espontánea para porte en una plantación de la variedad Borbón. Se difundió ampliamente entre los caficultores por su porte bajo, alta producción, excelente calidad de la bebida, amplia adaptación y buenas características del grano; desafortunadamente es altamente susceptible a enfermedades como la roya del café, *Hemileia vastatrix* Berk & Br. (18, 19), y a plagas como la broca del café *H. hampei* (10). Los padres donantes utilizados en los cruces fueron las introducciones CCC363 y CCC534, recolectadas por la misión de la FAO de 1964, derivadas de semillas de plantas únicas, recolectadas en la provincia de Kaffa (Etiopía), en altitudes entre los 1.700 y 2.000 m (14). Son plantas de porte alto, que fueron evaluadas en el campo, donde mostraron 50% menos infestación, y en el laboratorio 20% menos estados biológicos que Caturra (10, 21, 22).

La población híbrida está compuesta por 17 cruzamientos, 6 con CCC363 y 11 con CCC534, cuya genealogía y el número de plantas de cada genotipo se presentan en la Tabla 1. Las progenies F1 fueron sembradas en el año 2005 y evaluadas a partir de 2007. Se realizaron autofecundaciones que dieron lugar a sendas poblaciones F2, con diferente número de

plantas, sembradas en 2009 y evaluadas a partir del año 2010. De éstas se evaluaron las cinco poblaciones con mayor número de plantas, dos del cruce con CCC363 y tres del cruce con CCC534.

Estas poblaciones se evaluaron en condiciones controladas ( $26^{\circ}\text{C} \pm 1$ ;  $70\% \pm 3$  de humedad relativa), en los laboratorios de Cenicafé (Manizales, Colombia) y para su confirmación se evaluaron algunas de las progenies en el campo, en la Estación Central Naranjal, siguiendo los siguientes procedimientos:

**Evaluaciones en el laboratorio.** Las poblaciones F1 se evaluaron utilizando una muestra masal de granos. Adicionalmente, en cinco de estas poblaciones se evaluaron cada una de las plantas que las constituían, para determinar diferencias intrapoblacionales. En

las poblaciones F2 se tomó una muestra de cada una de las plantas.

Se utilizó el método desarrollado por Álvarez *et al.* (2), con modificaciones, para ver el efecto que producen los granos de las progenies sobre la reproducción de la broca, criándolas en cada una de ellas. Cuando la mayoría las hembras llegaron a estado adulto melanizado (35-40 días después del inicio de la cría) y se aparearon, se individualizaron poniendo una hembra en un vial con un grano pergamino de la misma planta donde fue criada y se registró su descendencia 28 días después de la infestación (DDI). Se evaluó la descendencia de 12 brocas por planta en la F1 y 20 para la F2, bajo un diseño completamente al azar. Se registró el número de individuos en cada estado de desarrollo, disecando los granos observando a través de un estereoscopio, sin embargo

**Tabla 1.** Listado de los 15 microsátélites evaluados.

Cruzamiento		Diez plantas F1 (MEG14.06)	Planta autofecundada	Plantas F2 (MEG14.13)	Código
Madre	Padre				
Caturra 26	CCC363 1542	21-30	26	131-180	CxC363_2
Caturra 42	CCC363 1546	81-90	83	781-840	CxC363_6
Caturra 78	CCC363 1546	151-160	153	521-600	CxC363_6
Caturra 26	CCC363 1547	31-40	34	961-1.140	CxC363_7*
Caturra 38	CCC363 1548	61-70	61	841-900	CxC363_8
Caturra 38	CCC363 1550	71-80	74	1201-1.360	CxC363_0*
Caturra 65	CCC534 1421	141-150	149	601-720	CxC534_0
Caturra 44	CCC534 1422	91-100	93	1.451-1.520	CxC534_1*
Caturra 63	CCC534 1423	121-130	125	61-130	CxC534_2
Caturra 36	CCC534 1424	41-50	41	351-520	CxC534_3
Caturra 61	CCC534 1425	111-120	116	1.521-1.690	CxC534_4*
Caturra 25	CCC534 1426	1-10	1	251-350	CxC534_5*
Caturra 25	CCC534 1427	11-20	20	181-250	CxC534_6
Caturra 60	CCC534 1428	101-110	106	1.361-1.450	CxC534_7
Caturra 78	CCC534 1428	161-170	161	1.141-1.200	CxC534_8
Caturra 36	CCC534 1429	51-60	54	901-960	CxC534_8
Caturra 63	CCC534 1430	131-140	139	721-780	CxC534_9

\* Poblaciones evaluadas en F2.

la variable de interés principal fue el total de individuos por grano.

Las evaluaciones se realizaron por medio de experimentos que evaluaron hasta siete genotipos y sus progenitores, debido a la capacidad de evaluación del personal. Se realizaron tres evaluaciones de las progenies F1, la primera con evaluaciones cada 6 días desde el cuarto día del montaje, las demás evaluaciones, incluyendo la evaluación a las progenies F2, con una única evaluación a los 28 DDI.

Se realizó análisis de varianza y prueba de Dunnett (5%), para identificar las progenies con menor número de individuos que Caturra. En las poblaciones F2, en cada planta se calculó el porcentaje de individuos respecto a los encontrados en Caturra, y se construyeron histogramas de frecuencia.

**Evaluaciones en el campo.** En los experimentos de campo se usó como unidad experimental la planta. En cada una de ellas se seleccionaron tres ramas, con un promedio de 20-22 frutos, de 150 días de edad aproximadamente, o de 27% de materia seca (MS). Estas ramas fueron individualizadas con mangas entomológicas, y sus frutos fueron infestados con hembras de broca criadas en el laboratorio (35-40 días de edad), en relación de dos brocas por un fruto.

La determinación de la edad aproximada de los frutos se realizó en la F1 por medio de un muestreo de frutos, identificando ramas con frutos verdes con endospermo consistente, en la última evaluación de frutos provenientes de una floración marcada previamente. En la F2, a los frutos muestreados se les calculó el porcentaje de materia seca, seleccionando aquellas ramas con frutos con 27% MS, cuando el endospermo es adecuado para la oviposición y desarrollo de las crías (17, 23, 25).

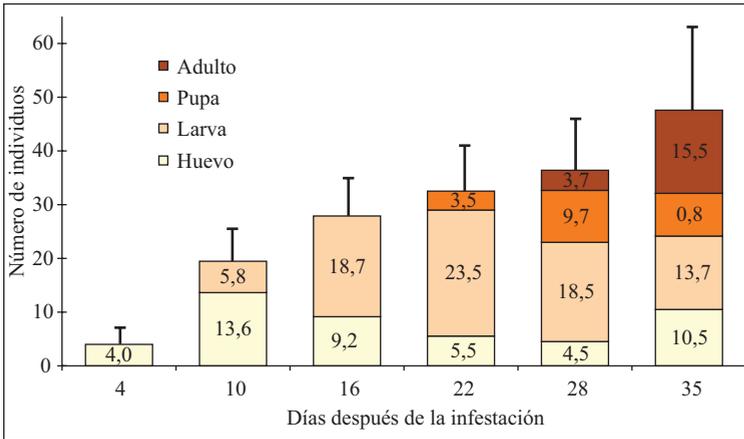
En la F1 y F2 se realizaron tres y dos evaluaciones, respectivamente. En las poblaciones F1 se evaluaron 12 frutos por planta y tres plantas por progenie. Se evaluaron frutos con una sola perforación y, al igual que en el laboratorio, se cuantificó el número de individuos por estado de desarrollo, disecando los frutos a los 28, 35, 40, 50, 55, 60, 70 DDI. En la F2, donde la evaluación fue individual, de cada planta se evaluaron entre 20 y 30 frutos infestados por una broca, dependiendo de la disponibilidad, únicamente 60 DDI. En ambas generaciones se realizó análisis de varianza del número de individuos por fruto y prueba de Dunnett (5%), comparando con Caturra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Poblaciones F1

**Evaluación en condiciones controladas.** La primera evaluación de las poblaciones F1 se realizó evaluando cada 6 días, desde los 4 días hasta los 35 DDI, lo que permitió ver el desarrollo de la broca en cada una de las progenies (Figura 1). Desde los 4 DDI hasta la última fecha de evaluación se cuantificaron huevos, con un pico a los 10 DDI con disminución a los 28 y un nuevo aumento a los 35 DDI. Los primeros adultos se observaron a los 28 DDI, con la mayoría en la última evaluación (Figura 1). Este patrón fue similar tanto en Caturra como en las progenies, al igual que en los progenitores etíopes (22), lo que indica que no hay alteración en el ciclo de desarrollo del insecto.

En la Figura 2 se observa el incremento del número de individuos por grano en uno de los experimentos, el cual muestra una tendencia cuadrática, similar en todas las poblaciones. También se observa que los rangos de intervalos de confianza aumentan a



**Figura 1.** Número promedio de individuos por grano en evaluaciones de laboratorio. Promedio de estados días después de la infestación, de todas las progenies F1 y progenitores de los cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Las barras corresponden al error estándar del total.

medida que hay mayor número de individuos, como resultado de una mayor varianza. Sin embargo, tanto en éstas como en evaluaciones anteriores (20, 22), en las primeras etapas del ciclo no hubo diferencias estadísticas entre ni entre progenitores contrastantes, ni entre éstos y las progenies. Teniendo en cuenta estos resultados, los siguientes experimentos se evaluaron únicamente a los 28 DDI, tiempo en el cual se ha completado el ciclo de vida, que reúne la mayor parte de progenie de la hembra fundadora, antes de que ocurra la oviposición de la segunda generación, lo cual permite la discriminación del efecto de los genotipos sobre la broca.

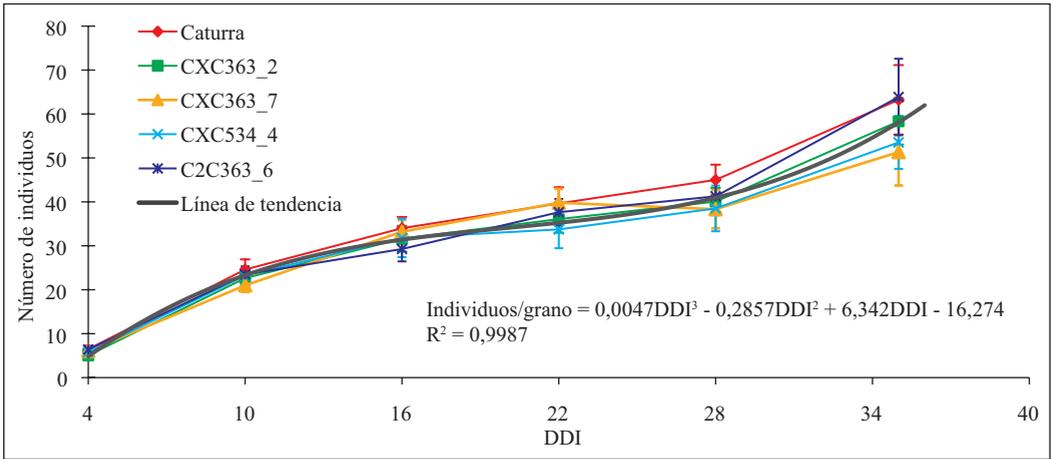
En la Tabla 2 se presenta el promedio del número de individuos por grano, a los 28 DDI, para las tres evaluaciones. En Caturra los promedios de evaluaciones variaron entre 37 y 47 individuos, mientras que en los progenitores etíopes entre 30 y 38 individuos, valores que están por encima del promedio de experimentos anteriores ( $35 \pm 3$ ). Los promedios de las progenies oscilaron entre 27 y 46 individuos en las tres evaluaciones.

El promedio del número de brocas, tanto en los descendientes de CCC363 como en los de CCC534, muestra un rango estrecho

de distribución, comparado con el de sus progenitores (Figura 3). Nueve progenies presentaron diferencias estadísticas con Caturra en una de las evaluaciones, sin embargo ninguna de ellas es consistentemente inferior al padre susceptible. Solo las progenies CxC363\_0, CxC534\_4, CxC534\_6 y CxC534\_9, presentaron diferencias estadísticas en dos de las evaluaciones.

En la evaluación de plantas individuales de cinco progenies, los promedios de Caturra estuvieron entre 28 y 34 individuos y las introducciones etíopes estuvieron por debajo del promedio de Caturra, aunque en estas evaluaciones no presentaron diferencias (Tabla 3). Se encontraron diferencias en dos plantas del cruce CxC534\_1 (plantas 8 y 3). En las demás plantas no hubo diferencias estadísticas, a pesar que los promedios fueron intermedios entre los progenitores. Entre plantas de la misma progenie tampoco hubo diferencias destacables.

**Evaluaciones en el campo.** En el primer experimento, con cuatro evaluaciones entre los 28 y 50 DDI, se evaluaron 13 progenies y Caturra (Tabla 4), usando frutos con madurez fisiológica y apariencia homogénea. En Caturra se encontraron entre 16 y 18 individuos,

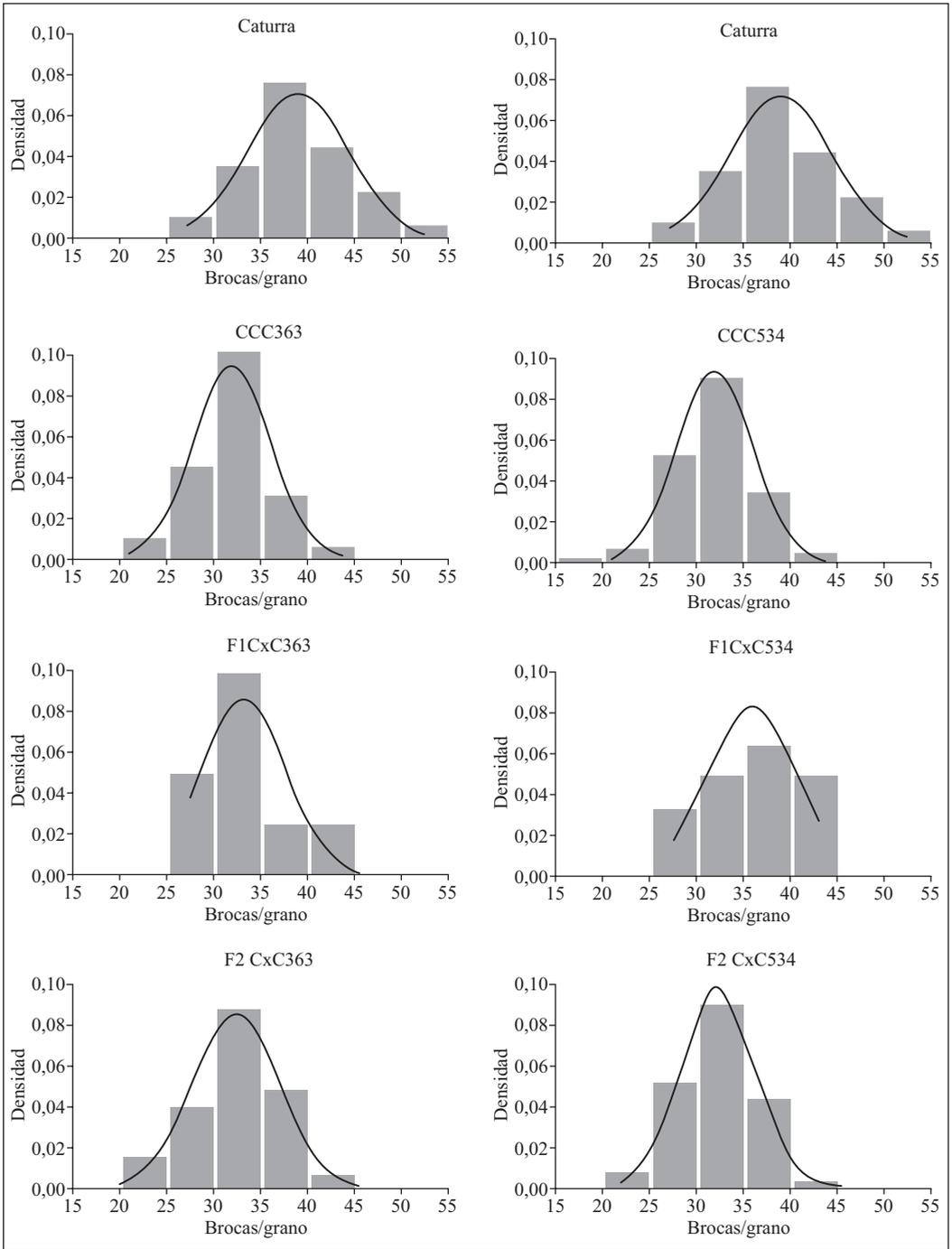


**Figura 2.** Número de brocas por grano en progenies F1 hasta 35 días después de la infestación. Evaluaciones de laboratorio. Las barras indican intervalos de confianza (5%).

**Tabla 2.** Número de brocas por grano de poblaciones F1 de cruces entre Caturra y las introducciones CCC363 y CCC534. Tres evaluaciones de laboratorio, 28 días después de la infestación.

Genotipo	Evaluación			Promedio	Porcentaje respecto a Caturra %
	1	2	3		
Caturra	46,9 (2,1) <sup>1</sup>	36,8 (1,7)	38,4 (3,9)	40,7 (5,5)	100
CCC 363	-	32,1 (2,8)*	29,7 (3,7)*	30,9 (1,7)	75,9
CCC 534	-	33,0 (1,9)*	37,7 (5,9)	35,4 (3,3)	86,9
CxC363_0	31,9 (7,3)*	33,7 (6,1)	27,1 (3,9)*	30,9 (3,4)	75,9
CxC363_2	40,1 (6,3)	41,9 (5,9)	29,6 (8,9)	37,2 (6,7)	91,4
CxC363_6	41,3 (5,8)	40,1 (10,3)	32,7 (6,7)	38,0 (4,7)	93,4
CxC363_6	40,6 (8,8)*	43,8 (9,2)	38,1 (5,4)	40,8 (2,8)	100,3
CxC363_7	38,3 (5,5)*	41,7 (6,3)	30,6 (5,8)	36,9 (5,7)	90,6
CxC363_8	35,7 (5,5)*	41,1 (5,0)	37,1 (6,4)	38,0 (2,8)	93,3
CatxC363	38,0 (3,6)	40,4 (3,5)	32,5 (4,3)	37,0 (4,0)	90,8
CxC534_0	43,8 (9,2)	41,9 (7,3)	43,3 (8,2)	43,0 (1,0)	105,7
CxC534_1	41,9 (7,7)*	38,3 (9,7)	40,3 (10,3)	40,2 (1,8)	98,7
CxC534_2	46,0 (9,0)	33,5 (14,0)	44,8 (6,6)	41,4 (6,9)	101,8
CxC534_3	38,7 (8,1)*	44,1 (6,3)	43,6 (6,1)	42,1 (3,0)	103,6
CxC534_4	38,5 (8,1)*	34,4 (6,1)	29,6 (7,6)*	34,2 (4,4)	84,0
CxC534_5	43,3 (6,1)*	37,3 (6,9)	37,3 (5,0)	39,3 (3,4)	96,5
CxC534_6	39,9 (10,6)*	42,5 (7,8)	31,7 (6,1)*	38,0 (5,7)	93,4
CxC534_7	39,9 (11,1)	36,3 (12,1)	27,8 (6,2)*	34,7 (6,2)	85,2
CxC534_8	39,1 (7,3)*	39,8 (7,5)	41,3 (10,9)	40,0 (1,1)	98,4
CxC534_8	40,9 (8,5)	33,1 (9,3)	34,3 (5,3)*	36,1 (4,2)	88,8
CxC534_9	37,0 (8,6)*	34,9 (4,1)	30,8 (6,1)*	34,2 (3,2)	84,1
CatxC534	40,8 (2,7)	37,8 (3,8)	36,8 (6,2)	38,5 (2,1)	94,6

<sup>1</sup> Promedio (Desviación estándar); \* Estadísticamente inferior a Caturra (Dunnett 0,05).



**Figura 3.** Histogramas de frecuencia de brocas por grano de poblaciones F1, F2 y progenitores de los cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Evaluaciones de laboratorio, 28 días después de la infestación.

siendo este el genotipo con mayor número de estados por fruto. Aunque en promedio las progenies tuvieron un menor número de individuos, no se presentaron diferencias estadísticas en la mayoría de poblaciones y tiempos. En todas las progenies, a los 28 DDI, se encontraron huevos y larvas en igual proporción (Figura 4). Entre los 35 y 50 DDI el estado predominante fue el de larva, las pupas aparecieron desde 40 DDI, aumentando hasta los 50 DDI. Los adultos no melanizados se observaron en la última evaluación, aunque su promedio fue inferior a uno (Figura 4).

El segundo experimento se evaluó entre los 40 y 70 DDI, con el fin de identificar la tiempo en la cual el desarrollo de adultos se completa y observar el máximo número de descendientes de la hembra fundadora, antes de la oviposición de la segunda generación. Se evaluaron las cinco progenies que tuvieron diferencias estadísticas en el primer experimento de laboratorio.

A los 40 DDI se encontraron huevos, larvas y pupas, y a los 56 y 70 DDI se observaron todos los estados (Figura 4). La proporción de huevos por fruto se redujo de 19% a 12% entre los 40 y 56 DDI, posteriormente aumentó al 29%, posiblemente como consecuencia de la oviposición de las hembras de la segunda generación, que aumentaron del 16% al 37% entre los 56 y 70 DDI. Al igual que en el experimento anterior, los promedios en Caturra estuvieron entre 16% y 20%, por encima de las progenies (Tabla 4), sin embargo solo dos progenies mostraron diferencias luego de los 55 DDI (Cx363\_0 y Cx363\_7).

Para verificar los resultados, se repitió este experimento, evaluando a los 55 y 60 DDI (Tabla 4), la infestación de frutos de 150 días provenientes de una floración identificada. En éste, la proporción de adultos aumentó de 7% a 19% entre los 55 y 60 DDI, mientras que la proporción de huevos permaneció constante (8%), es decir, los adultos de la

**Tabla 3.** Número de brocas por grano en plantas de progenies F1 de cruces entre Caturra y las introducciones CCC363 y CCC534. Evaluación 28 días después de la infestación.

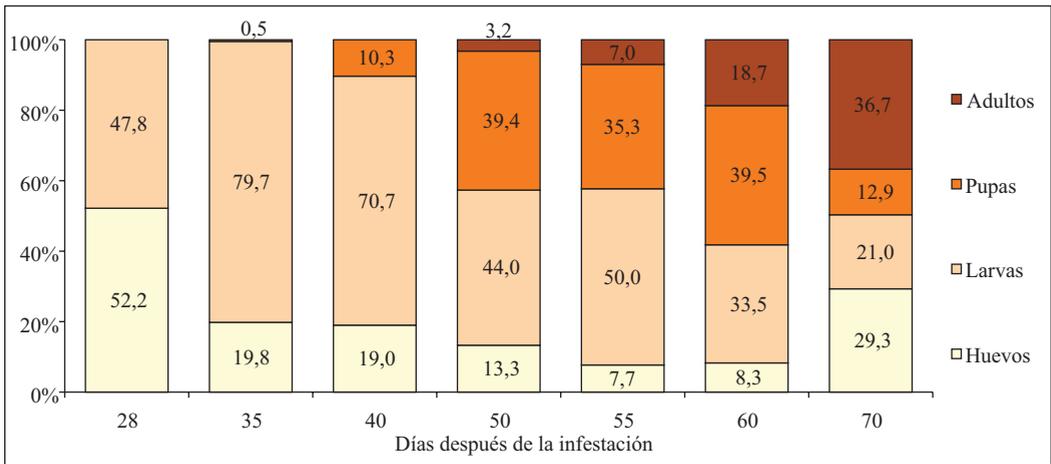
Planta	Progenie				
	CxC363_0 <sup>1-2</sup>	CxC363_7	CxC534_1	CxC534_8	CxC534_6
1	25,3 (7,7)c	28,3 (6,7)a	31,3 (4,5)bc	26,1 (8,2)a	29,6 (9,7)a
2	25,1 (7,2)c	27,4 (9,3)a	29,8 (3,5)bc	26,3 (4,0)a	29,5 (6,5)a
3	29,3 (8,3)abc	29,8 (7,0)a	27,7 (3,6)c	25,3 (6,6)a	23,8 (5,1)a
4	25,1 (5,6)c	23,9 (6,6)a	30,3 (5,5)bc	30,7 (7,0)a	28,8 (8,9)a
5	26,1 (7,9)bc	25,5 (7,7)a	29,3 (3,8)bc	26,1 (10,0)a	30,3 (4,8)a
6	29,5 (7,5)abc	30,7 (8,1)a	29,7 (4,7)bc	25,4 (5,1)a	
7	32,6 (5,5)a	26,6 (7,9)a	30,0 (6,0)bc	26,3 (7,1)a	
8	24,8 (6,2)c		27,9 (3,4)c	23,8 (4,6)a	
9	24,6 (5,6)c		38,2 (7,2)a	24,6 (6,4)a	
10	32,4 (5,5)ab		30,9 (7,9)bc		
<b>Promedio</b>	<b>27,5 (3,2)</b>	<b>27,5 (2,4)</b>	<b>30,5 (2,9)</b>	<b>26,0 (1,9)</b>	<b>28,4 (2,6)</b>
<b>Caturra</b>	<b>28,3 (8,3)abc</b>	<b>31,0 (10,3)a</b>	<b>34,3 (5,8)ab</b>	<b>31,9 (6,3)a</b>	<b>28,9 (7,3)a</b>
<b>CCC363</b>	<b>26,1 (6,6)bc</b>	<b>26,3 (5,2)a</b>			
<b>CCC534</b>			<b>29,6 (5,7)bc</b>	<b>25,9 (6,7)a</b>	<b>24,1 (7,9)a</b>

<sup>1</sup> Promedio (Desviación estándar); <sup>2</sup> Progenies con promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes.

**Tabla 4.** Número de brocas por fruto en progenies F1 de cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534, en tres evaluaciones de campo.

Genotipo	Evaluación											
	1				2				3			
	28 DDI	35 DDI	40 DDI	50 DDI	40 DDI	55 DDI	70 DDI	55 DDI	60 DDI			
Caturra	17,1 (3,6) <sup>1</sup>	18,1 (0,8)	15,7 (2,4)	18,2 (4,9)	16,3 (3,2)	21,2 (4,9)	32,5 (13,3)	17,2 (3,0)	17,5 (2,8)			
CxC363_0	15,4 (2,3)	14,2 (1,3)	14,8 (4,8)	12,5 (5,5)	15,4 (6,8)	14,7 (2,6)*	13,8 (4,2)*	16,3 (2,4)	13,5 (1,9)			
CxC363_6	14,8 (4,0)	15,5 (2,6)	12,0 (2,8)	12,8 (1,0)	-	-	-	-	-			
CxC363_6	14,7 (2,4)	13,4 (0,7)	15,5 (2,0)	15,4 (5,7)	-	-	-	-	-			
CxC363_7	12,7 (0,8)	14,6 (1,3)	13,2 (1,0)	11,0 (4,7)*	13,8 (6,1)	12,8 (5,3)*	27,7 (10,5)	10,0 (1,1)	10,1 (0,5)			
CxC363_8	17,8 (3,9)	15,7 (3,1)	14,9 (0,4)	14,8 (3,6)	-	-	-	-	-			
CxC363	15,1 (1,8)	14,7 (1,0)	14,1 (1,4)	13,3 (1,8)	14,6 (1,2)	13,7 (1,3)	20,7 (9,9)	14,8 (3,4)	11,8 (2,2)			
CxC534_0	14,5 (5,2)	15,4 (4,5)	10,6 (2,4)	14,0 (2,1)	-	-	-	-	-			
CxC534_1	-	-	-	-	17,5 (4,0)	17,2 (11,5)	25,1 (19,4)	18,4 (2,5)	10,8 (1,3)			
CxC534_2	11,9 (3,0)	16,9 (4,3)	12,6 (4,1)	11,4 (1,2)*	-	-	-	-	-			
CxC534_3	14,7 (1,2)	14,9 (2,0)	11,6 (1,8)	13,6 (4,0)	-	-	-	-	-			
CxC534_4	18,1 (1,4)	16,7 (3,5)	13,9 (2,9)	-	-	-	-	-	-			
CxC534_5	15,3 (2,2)	14,9 (0,4)	12,8 (0,9)	13,5 (1,6)	-	-	-	16,3 (4,1)	14,2 (3,9)			
CxC534_6	-	-	-	-	16,1 (5,0)	17,3 (4,5)	27,7 (14,6)	10,7 (1,4)	10,8 (2,7)			
CxC534_7	15,3 (3,0)	18,4 (1,7)	14,9 (2,4)	-	-	-	-	-	-			
CxC534_8	15,2 (1,9)	16,5 (2,6)	12,5 (3,8)	12,3 (1,2)	-	-	-	-	-			
CxC534_8	15,0 (1,5)	11,6 (3,4)	12,3 (2,2)	16,2 (4,5)	16,0 (3,4)	16,5 (5,3)	26,6 (19,5)	16,9 (1,4)	15,0 (3,7)			
CxC534	15,0 (1,7)	15,7 (2,0)	12,6 (1,3)	13,5 (1,6)	16,5 (0,8)	17,0 (0,5)	26,5 (1,3)	15,6 (4,4)	12,7 (2,4)			

DDI: Días después de la infestación; IPromedio (Desviación estándar); \* Estadísticamente inferior a Caturra (Dunnnet 0,05).



**Figura 4.** Proporción promedio de estados por frutos de todas las progenies F1 y los progenitores de los cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534 en el campo.

segunda generación no habían empezado a ovipositar (Figura 4). El promedio de individuos en Caturra, en el tiempo fue de 17 individuos por grano, y se encontraron diferencias estadísticas a los 55 y 62 DDI en las progenies: CXC363\_7 y CXC534\_6, y solo a los 62 DDI en CXC534\_0.

Tanto los experimentos de campo como los de laboratorio muestran que las progenies estudiadas presentan la tendencia de un comportamiento intermedio al de sus progenitores, pero la reducción en el número de estados por grano no alcanzó a ser significativa. Estas evaluaciones también permitieron identificar en ambos ambientes los tiempos de evaluación más adecuados.

## Poblaciones F2

### Evaluación en condiciones controladas.

Se evaluaron 581 plantas de las cinco poblaciones más grandes, como se indica en la Tabla 5. El promedio de brocas por grano más alto se encontró en Caturra (Tabla 5, Figura 5); mientras que en las introducciones etíopes comparadas con la variedad Caturra,

se obtuvo una reducción en el número de individuos cercano al 20%. Esta diferencia es consistente con los resultados previos de Romero y Cortiina (22), y similares a los hallados en las evaluaciones de la F1.

Las dos poblaciones, vistas como unidad de cruzamiento, mostraron una distribución normal (Figura 3), con promedios similares a las de los progenitores etíopes. Esta distribución es típica de caracteres de variación continua, como se presume corresponde al rasgo estudiado. Respecto a Caturra (Figura 5 a y d), la población F2 CxC363 está entre 60% y 120% y entre 45%-110% para la F2 CxC534, es decir, que una parte de las poblaciones poseen promedios cercanos a Caturra y hasta superiores, pero la mayoría presentaron promedios inferiores. El 53% de las plantas analizadas en el cruce CxC363 y el 62% en CxC534, fueron inferiores significativamente a Caturra en el número de individuos desarrollados.

De éstas, 76 de las 248 plantas evaluadas en el cruce CxC363, mostraron porcentajes respecto a Caturra inferiores a 80% (Tabla 5),

y 164 de las 333 plantas del cruce CxC534; es decir, que una alta proporción de individuos de estas poblaciones tiene diferencias iguales o superiores a las de sus respectivos progenitores etíopes. Por otro lado, ninguna de las plantas evaluadas presentó promedios significativamente superiores a los de Caturra.

Al analizar cada subpoblación independientemente (Figuras 5 b, c, e, f, y g), se observa que las poblaciones CxC363\_7 y CxC363\_0, mostraron una distribución similar, con rangos entre 60% y 120% y una media de 84% y 80%, respectivamente. Coinciden también en que pocos individuos están por encima del 90%, la mayoría de la población posee valores cercanos al del CCC363 (81,4%).

Las poblaciones CxC534\_4 y CxC534\_5 mostraron la misma tendencia que las del cruce anterior, coincidiendo también en los promedios, sin embargo su rango fue entre 50% a 110%. Por otro lado, su población hermana CxC534\_1, mostró una distribución más simétrica, y una media igual a la de su padre resistente (Tabla 5), con un rango de 40% -110%. En esta subpoblación se encontró el mayor número de individuos

por debajo de 80% respecto a Caturra (67 de 90 analizados), y sólo un individuo con valores superiores al 100%.

En cuanto al número de individuos de cada estado de broca, se encontró que la distribución para todos los genotipos es muy similar (Figura 6), así: mayor proporción de larvas, seguida de pupas y menor número de adultos y huevos, que concuerdan con las proporciones encontradas en la F1, en el mismo tiempo de evaluación. En Caturra se encontró el mayor número de individuos de cada estado.

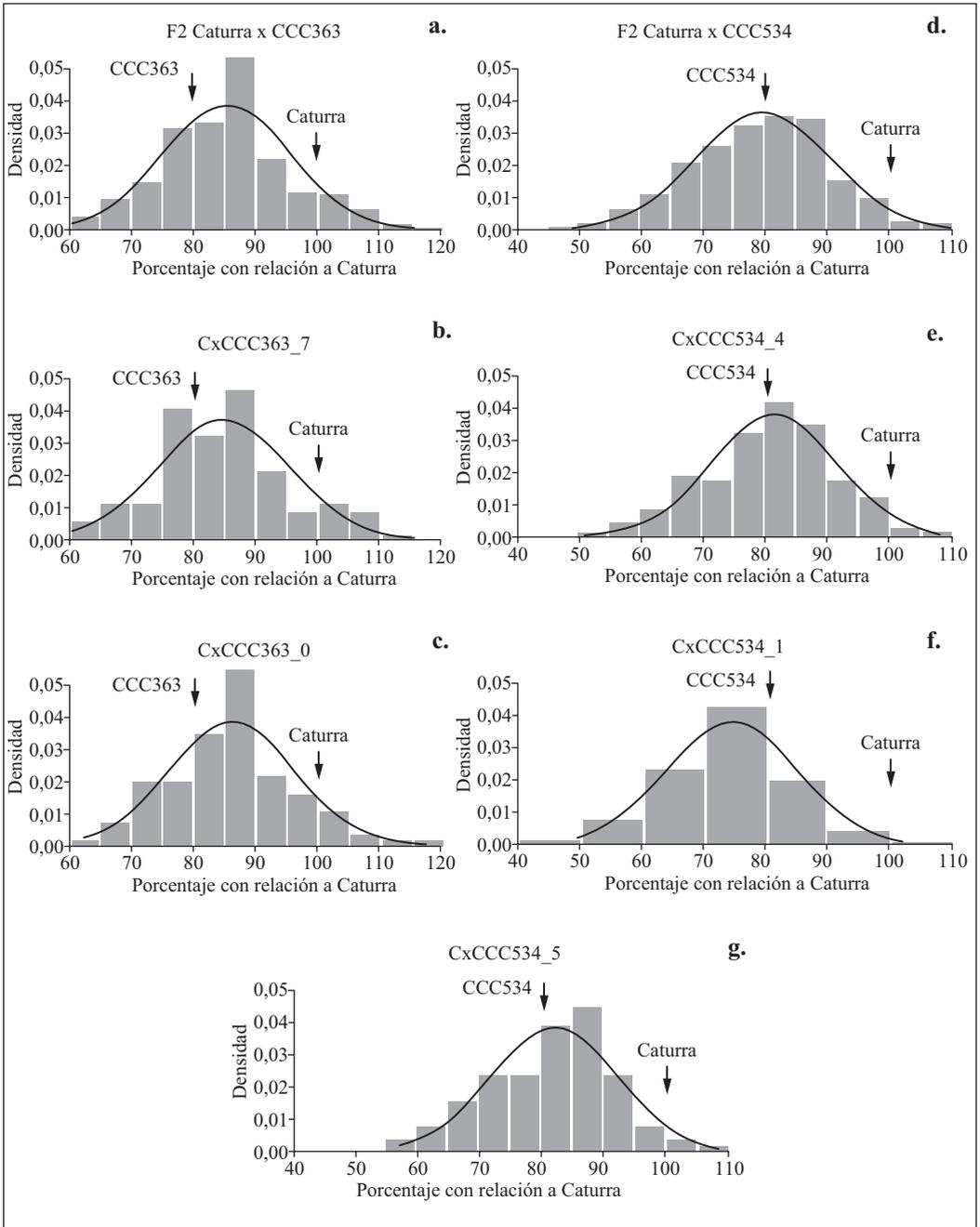
Por otro lado, del total de las plantas de ambos cruzamientos (581), 225 presentaron diferencias estadísticas con Caturra en el número de adultos (Dunnett  $P < 0,05$ ), 231 plantas en el número de pupas, 141 en el número de larvas y 44 en el número de huevos; siendo el número de estados inferior. La mayor diferencia se presentó en adultos y pupas, lo cual refleja una menor oviposición en los primeros 10 días después de la infestación.

**Evaluación de campo.** Con el muestreo de materia seca de los frutos de las plantas

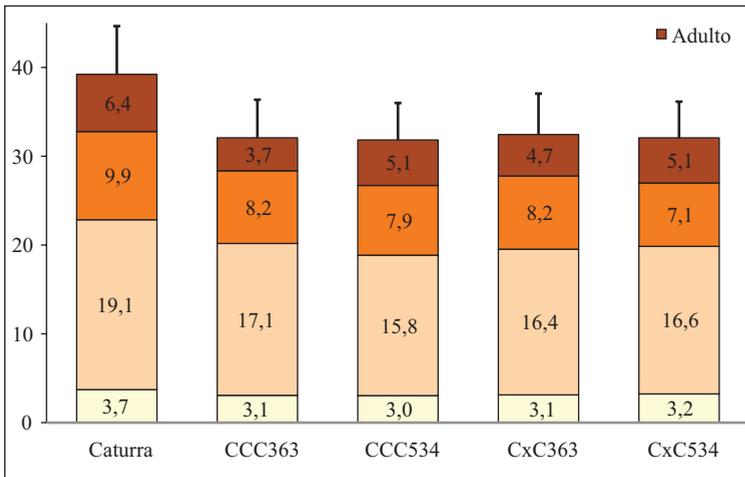
**Tabla 5.** Promedios de brocas por grano en cinco progenies F2 de cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Evaluación en laboratorio 28 días después de la infestación.

Población	Nº plantas evaluadas	Brocas/grano <sup>1</sup>	Porcentaje respecto a Caturra <sup>2</sup>	Nº Plantas resistentes <sup>3</sup>
Caturra	107	39,2 (5,4)	100	
CCC363	51	31,9 (4,3)	81,4	
CCC534	66	31,7 (4,2)	80,9	
CxC363_7	141	33,1 (4,3)	84,4	49
CxC363_0	107	31,3 (4,8)	79,8	27
CxC534_4	143	31,5 (4,4)	80,4	59
CxC534_1	90	31,8 (3,8)	81,1	67
CxC534_5	100	33,1 (3,7)	84,4	38

<sup>1</sup> Promedio (Desviación estándar); <sup>2</sup> Porcentaje promedio; <sup>3</sup> Plantas con diferencias significativas con el testigo (Dunnett  $P < 0,05$ ), y porcentajes respecto a Caturra menor o igual a 80%.



**Figura 5.** Histograma de frecuencia de la proporción de brocas respecto a Caturra, de las poblaciones F2 de los cruzamientos Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Evaluaciones de laboratorio 28 días después de la infestación. Las flechas indican la ubicación la proporción de los padres. **a.** y **d.** Histogramas con la información de todas las progenies evaluadas. **b., c., e., f.** y **g.** Histogramas de subpoblaciones según el cruzamiento.



**Figura 6.** Número promedio de individuos por grano de progenies F2 y progenitores de los cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Evaluaciones de laboratorio a los 28 días después de la infestación. Las barras corresponden a la desviación estándar del total.

a evaluar, se identificaron dos posibles floraciones, por lo cual se realizaron dos grupos de evaluaciones, con diferencia de 3 semanas. Las progenies de CCC534 tenían en promedio 3% más materia seca que las de CCC363, es decir, estaban más desarrolladas, por tal razón un experimento posee más descendientes de una introducción que la otra. La infestación en los frutos se realizó cuando el estado de desarrollo fisiológico de cada grupo alcanzó cerca de 27% de MS.

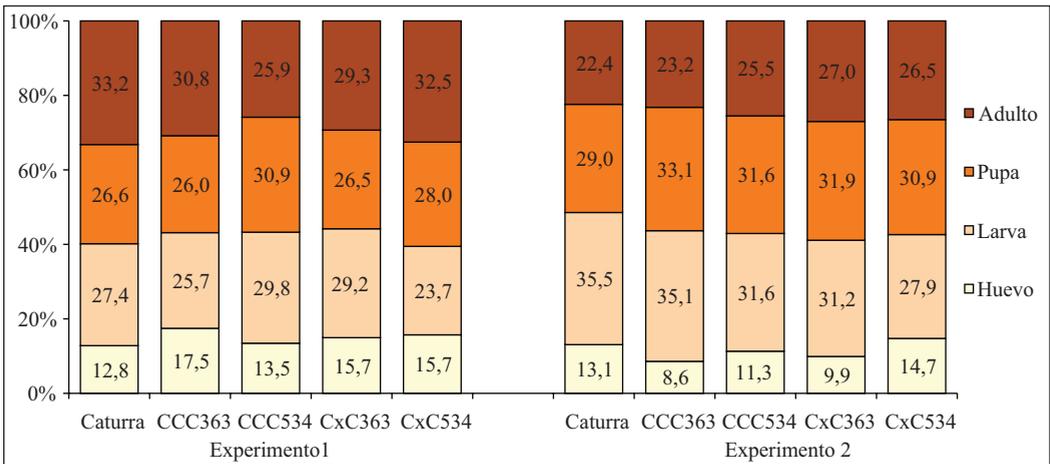
Utilizando este método, en la evaluación (60 DDI), el 5% de los frutos infestados se encontraron en estado verde, el 25% maduro y el 70% sobremaduro (33,4% MS). En estos últimos el desarrollo de la broca fue mejor, se completó el ciclo y se encontraron en promedio 12 brocas en el primer experimento y 15 en el segundo, por lo cual para el análisis se tuvo en cuenta únicamente la información de estos frutos, para procurar la homogeneidad de la muestra.

Como en las evaluaciones en el laboratorio, la proporción de estados fue similar en todas las poblaciones (Figura 7), lo que indica que las introducciones etíopes y su descendencia no afectan el desarrollo de la broca. Tampoco

hubo un estado predominante, encontrándose similar proporción de larvas, pupas y adultos.

En Caturra se encontraron entre 16-17 brocas en el primer experimento y entre 19-23 brocas en el segundo, y en ambos casos los mayores promedios con relación a etíopes y progenies (Tablas 6 y 7). Sin embargo, únicamente una planta (1233), y los etíopes fueron estadísticamente inferiores a Caturra en el primer experimento, y tres en el segundo (696, 1134, 1667). Las plantas 1134, 1233 y 1667 presentaron menos del 65% de individuos que Caturra, comportamiento similar al que se registró en el laboratorio. Por otro lado, en la planta 696 se encontró cerca de la mitad de individuos que en Caturra, a pesar que en el laboratorio no presentó diferencias con el padre susceptible.

Las demás plantas, aunque no tuvieron diferencias significativas, redujeron en promedio 20% la presencia de broca, respecto a Caturra. La evaluación en la etapa adecuada del ciclo de desarrollo de la broca y la homogeneización de la muestra a partir de la medida de la materia seca contribuyen a la determinación de diferencias.



**Figura 7.** Proporción promedio de estados por frutos de progenies F2 y progenitores de los cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534 evaluados en el campo. Resultados de dos experimentos.

No obstante, en el campo los resultados tienen rangos de respuesta muy amplios, como el de la planta 387 en la que se encontraron desde 2 hasta 39 individuos por fruto. A pesar de esto, en Caturra se observó una clara tendencia en el número de individuos desarrollados a los 60 DDI ( $17 \pm 2$ ), en las dos generaciones. Varianzas tan altas necesita muestras más grandes para detectar diferencias.

En el laboratorio, la respuesta en Caturra también fue consistente, con promedios cercanos a 40 brocas, tanto en la primera como en la segunda generaciones, y similar a las evaluaciones previas (20, 22). De igual forma, las introducciones etíopes redujeron el número de individuos en cerca del 20% respecto a Caturra, en ambas generaciones y con diferencias en el campo y el laboratorio.

Por su parte, las poblaciones descendientes heredaron el carácter de interés (Figuras 3 y 6), tanto CxC363 como CxC534, aunque esta última tiende a tener mayores diferencias con respecto a Caturra, principalmente la

subpoblación CxC534\_1 (Figura 6). Los resultados también confirman que no hay efecto sobre el desarrollo de la broca, sólo disminución en el número individuos y probablemente reducción en la oviposición en los primeros 10 días.

Actualmente en el mundo no hay una variedad comercial de café resistente a la broca, y las principales observaciones señalan posibles fuentes de resistencia en especies diploides (*C. liberica*, *C. eugenioides* y *C. kapakata*), relacionadas con mecanismos de no preferencia (12, 26, 28, 29). El mejoramiento de *C. arabica* es prolongado, especialmente si es necesaria la hibridación interespecífica, por lo cual es deseable introducir características de defensa a partir de genotipos de la misma especie, aunque los niveles sean relativamente bajos.

El éxito de variedades que reducen las poblaciones de plagas, aunque sea en bajas proporciones, está en la combinación con otras medidas. Éstas disminuyen el número de individuos por generación y por lo tanto

**Tabla 6.** Número de brocas por fruto en progenies F2 de cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Experimento de Campo 1, evaluado 60 días después de la infestación.

Población	Nº de identificación planta evaluada	Brocas/grano <sup>1</sup>	Porcentaje respecto a Caturra
Caturra	32	15,6 (8,3)	100
CCC363	1.694	10,4 (6,6)*	66,8
CCC363	1.720	7,8 (4,1)*	50,0
CCC363	1.735	10,0 (6,3)*	64,0
	Prom. CCC363	9,4 (1,4)	60,3
CCC534	1.754	11,3 (6,9)	72,7
CCC534	1.766	9,3 (2,9)*	59,9
CCC534	1.775	8,7 (3,6)*	55,7
	Prom. CCC534	9,8 (1,4)	62,8
CxC363_7	990	11,8 (6,3)	76,0
CxC363_7	1.101	14,0 (8,4)	89,8
CxC363_0	1.214	14,9 (6,6)	96,0
CxC363_0	1.233	10,2 (5,5)*	65,3
CxC363_0	1.234	10,6 (5,1)	68,2
CxC363_0	1.313	12,9 (5,7)	82,7
CxC363_0	1.354	14,3 (6,7)	92,1
CxC534_1	625	14,5 (6,8)	93,0

<sup>1</sup>Promedio (Desviación estándar); \* Estadísticamente inferior a Caturra (Dunnett 0,05).

**Tabla 7.** Número de brocas por fruto en progenies F2 de cruces Caturra x CCC363 y Caturra x CCC534. Experimento de Campo 2, evaluado 60 días después de la infestación.

Población	Nº de identificación planta evaluada	Brocas/grano <sup>1</sup>	Porcentaje respecto a Caturra
Caturra	18	19,1 (10,1)	100
CCC363	1.712	14,6 (7,2)	76,5
CCC534	1.766	15,1 (8,6)	79,0
CCC534	1.775	13,4 (7,8)	70,4
	Prom. CCC534	14,3 (1,2)	74,7
CxC363_7	1.091	13,8 (5,7)	72,1
CxC363_7	1.134	12,4 (8,2)*	64,9
CxC363_0	1.216	15,4 (9,3)	80,9
CxC534_4	387	16,1 (8,6)	84,1
CxC534_4	406	15,5 (9,5)	81,0
CxC534_1	696	10,4 (4,9)*	54,3
CxC534_5	1.606	13,8 (7,3)	72,3
CxC534_5	1.618	20,5 (11,0)	107,6
CxC534_5	1.667	11,4 (5,6)*	59,9

<sup>1</sup>Promedio (Desviación estándar); \* Estadísticamente inferior a Caturra (Dunnett 0,05).

el crecimiento poblacional y en combinación con los demás controles, mantiene las plagas por debajo de los niveles de daño económico (1).

Sin embargo, es mejor utilizar fuentes de resistencia con niveles superiores a los descritos. Con esta intención, en Cenicafé se evaluó otra parte del germoplasma etíope, encontrando algunas introducciones que reducen la oviposición en más del 30%, con las cuales ya se han realizado cruzamientos. Por lo tanto, es conveniente continuar con esta búsqueda en el germoplasma de *Coffea arabica*.

La mayor dificultad para la evaluación de germoplasma y poblaciones en mejoramiento, es el método por disección de granos, que aunque sencillo, en la práctica precisa de considerable tiempo y jornales. Los resultados, indican que la reducción de la oviposición es una característica heredable, haciendo que herramientas moleculares como la selección asistida por marcadores, sean una opción viable, disminuyendo el tiempo y los costos de la selección.

Cenicafé cuenta con un mapa genético, con marcadores distribuidos en 21 grupos de ligamiento, que junto con las poblaciones evaluadas, permitirán localizar regiones del genoma responsables de la baja oviposición, que permitirán hacer selección asistida. Pero antes es conveniente reevaluar y confirmar los resultados, especialmente de los individuos contrastantes. Esta herramienta ya se ha utilizado con éxito en otros cultivos como el fríjol (5, 6, 13) y la papa (24), buscando asociaciones por resistencia a coleópteros.

Adicionalmente, la información generada en el presente trabajo, permitirá la selección de genotipos para avanzar en la siguiente

generación, y continuar el mejoramiento de las poblaciones estudiadas. Paralelamente es recomendable realizar trabajos que expliquen las causas de la resistencia, como los trabajos de proteómica que se están adelantando.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Federación Nacional de Cafeteros y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (Convenio de cooperación técnica y científica No. 067 "Iniciativa para el estudio del genoma del café, de la broca y de su agente controlador *Beauveria bassiana*" contrato 074 de 2007). Agradecimientos a Sandra L. Largo V. y demás colaboradores por su apoyo en el desarrollo de las evaluaciones.

## LITERATURA CITADA

1. ADKINSSON, P.L.; DYCK, V.A. Variedades resistentes en los sistemas de manejo de plagas. p. 253-271. En: MAXWELL, F.G.; JENNINGS, P.R. Manejo de plantas resistentes a insectos. 1a. ed. México: Limusa, 1984.
2. ÁLVAREZ S., J.H.; CORTINA G., H.A.; VILLEGAS M., J.F. Métodos para evaluar antibiosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari), en café, bajo condiciones controladas. Cenicafé 52(3):205-214. 2001.
3. ARCILA P, J.; JARAMILLO R., A.; BALDION R., J.V.; BUSTILLO P., A.E. La floración del cafeto y su relación con el control de la broca. Chinchiná : Cenicafé, 1993. 6 p. (Avances Técnicos No. 193).
4. BERGAMIN, J. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari 1867) (Col. Ipidae). Arquivos do instituto biológico. 14:31-72. 1943.
5. BLAIR, M.W.; MUÑOZ, C.; GARZA, R.; CARDONA, C. Molecular mapping of genes for resistance to the bean pod weevil (*Apion godmani* Wagner) in common bean. Theoretical and applied genetics 114:913-23. 2006.

6. BLAIR, M.W.; MUÑOZ, C.; BUENDÍA, H.F.; FLOWER, J.; BUENO, J.M.; CARDONA, C. Genetic mapping of microsatellite markers around the arcelin bruchid resistance locus in common bean. *Theoretical and applied genetics* 121:393-402. 2010.
7. BUSTAMANTE G., L.J. Evaluación de resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) por antibiosis sobre *Coffea arabica* L. en condiciones controladas. Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de ciencias agropecuarias, 2006. Tesis: Ingeniero agrónomo.
8. BUSTILLO P., A.E.; CÁRDENAS 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.
9. BUSTILLO P., A.E. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2002. 40 p. (Boletín Técnico No. 24).
10. CORTINA G., H.A. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasmas de café: Informe técnico final a Colciencias. Chinchiná : Cenicafé, 2000. 90 p.
11. CORTINA G., H.A.; MONCADA B., M. DEL P.; ROMERO, J.V.; VARGAS A., B.I.; BUSTAMANTE G., L.J. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). p. 134. En: CONGRESO de la Sociedad colombiana de entomología. (33 : Julio 26-28 2006 : Manizales). Manizales : SOCOLEN, 2006.
12. DUARTE N., M.T. Determinación de la atraktividad de frutos de varios cultivares de café a la broca del fruto del caféto *Hypothenemus hampei* F., utilizando el método de olfatometría a nivel de laboratorio. San Carlos de Guatemala : Universidad de San Carlos. Facultad de agronomía, 1992. 55 p. Tesis: Ingeniero agrónomo.
13. LIN, C.; CHEN, C.S.; HORNG, S.B. Characterization of resistance to *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in mungbean variety VC6089A and its resistance-associated protein VrD1.J. *Economic Entomology* 98:1369-1373. 2005.
14. MEYER, F.G. FAO. Coffee mission to Ethiopia 1964 - 1965. Roma : FAO, 1968.
15. MONCADA B., M. del P. Búsqueda de fuentes de resistencia genética a la broca *Hypothenemus hampei*, en germoplasma de café. Chinchiná : Cenicafé, 1992.
16. MONCADA B., M. DEL P.; RIVERA M., A. Métodos de infestación en frutos de café con *Hypothenemus hampei* utilizando mangas entomológicas. p. 60. En: CONGRESO de la Sociedad colombiana de entomología. (22 : Julio 26-28 1995 : Santafé de Bogotá). Bogotá : SOCOLEN, 1995.
17. MONTROYA O., S.A.; CÁRDENAS M., R. Biología de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en frutos de café de diferentes edades. *Cenicafé* 45(1):5-13. 1994.
18. MORENO R., L.G.; ALVARADO A., G. La variedad Colombia; veinte años de adopción y comportamiento frente a nuevas razas de la roya del caféto. Chinchiná : Cenicafé, 2000. 32 p. (Boletín Técnico No. 22).
19. OROZCO C., F.J. Descripción de especies y variedades de café. Chinchiná : Cenicafé, 1986. 29 p. (Boletín Técnico No. 11).
20. ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Fecundidad y ciclo de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en introducciones silvestres de café. *Cenicafé* 55(3):221-231. 2004.
21. ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Evaluación de germoplasma de café por antixenosis a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en condiciones controladas. *Cenicafé* 55(4):341-346. 2004.
22. ROMERO, J.V.; CORTINA G., H.A. Tablas de vida de *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) sobre tres introducciones de café. *Revista colombiana de entomología* 33(1):10-16. 2007.
23. RUIZ C., R. Efecto de la fenología del fruto de café sobre los parámetros de la tabla de vida de la Broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari). Manizales : Universidad de Caldas. Facultad de ciencias agropecuarias, 1996. 87 p. Tesis: Ingeniero agrónomo.
24. SAGREDO, B.; BALBYSHEV, N.; LAFTA, A.; CASPER, H.; LORENZEN, J. A QTL that confers resistance to Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* [Say]) in tetraploid potato populations segregating for leptine. *Theoretical and applied genetics* 119:1171-81. 2009.
25. SALAZAR G., M.R.; ARCILAP, J.; RIAÑO H., N.M.; BUSTILLO P., A.E. Crecimiento y desarrollo del fruto del café y su relación con la broca. Chinchiná : Cenicafé, 1993. 4 p. (Avances Técnicos No. 194)

26. SERA, G.H.; SERA, T.; ITO, D.S.; RIBEIRO, C.; VILLACORTA, V.; SEIDI K., F.; RIBEIRO, C.; DEL GROSSI, L. Coffee berry borer resistance in coffee genotypes. *Brazilian archives of biology and technology* 53(2):261-268. 2010.
27. VARGAS A., B.I. Evaluación de germoplasma de café etíope (*Coffea arabica* L.) por resistencia a *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en campo y en condiciones controladas. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, 2006. 97 p. Tesis de Maestría en Entomología
28. VILLAGRAN G., W. Atractividad relativa y susceptibilidad de varias especies y cultivares de café *Coffea* spp. a la broca del fruto *Hypothenemus hampei* Ferr. en condiciones de laboratorio. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de agronomía, 1991. 43 p. Tesis: Ingeniero agrónomo.
29. VUILLET, J. Degré de sensibilité des différents caféiers au *Stephanoderes coffeae*. *Revue de botanique appliquée et d'agriculture tropicale* 5(48):601-604. 1925.

# INTERFERENCIA DE COBERTURAS VEGETALES EN LA ZONA DE RAÍCES Y ENTRE CALLES DEL CULTIVO DEL CAFÉ

Luis Fernando Salazar Gutiérrez\*; Juan Gabriel Arango Ramírez\*; Carmen Soledad Morales Londoño\*\*

---

## RESUMEN

**SALAZAR G., L.F.; ARANGO R., J.G.; MORALES L., C.S. Interferencia de coberturas vegetales en la zona de raíces y entre calles del cultivo del café. Revista Cenicafé 63(2): 50-57 2012**

Con el objetivo de generar opciones de manejo de coberturas para la conservación de suelos en el cultivo del café, se evaluó el efecto de mani forrajero (*Arachis pintoi* c.v. CIAT 17434), desmodium (*Desmodium adscendens* c.v. CIAT 350) y de arvenses de baja interferencia (coberturas nobles), sobre el desarrollo y producción del café Variedad Castillo®. A partir de los 6 meses después de la siembra del café en el campo, y para cada una de las especies de cobertura se establecieron tres tratamientos: 1. Cobertura en la zona de raíces (plato) y en las calles del café, 2. Sólo en las calles con la adición de cobertura muerta proveniente del corte de arvenses (mulch) en el plato, y 3. En las calles y sin cobertura en el plato, para un total de nueve tratamientos y un testigo libre de coberturas. Se empleó un diseño completamente aleatorio con seis repeticiones que se ajustó posteriormente mediante un postbloqueo de tres bloques. Se evaluó la producción y la calidad física del grano de tres cosechas. Se realizó análisis de varianza, prueba de Dunnett, Tukey y contrastes al 5%. El mani forrajero y las coberturas nobles en platos y calles no afectaron el desarrollo y la producción del café, al igual que los tratamientos con adición de mulch en la zona de raíces. Desmodium afectó negativamente al café al reducir la producción en un 23,6% con relación al testigo.

**Palabras clave:** Conservación de suelos, arvenses, zona cafetera central.

---

## ABSTRACT

In order to generate cover management options for soil conservation in coffee crops, the effects of forage peanut (*Arachis pintoi* cv CIAT 17434), Desmodium (*Desmodium adscendens* cv CIAT 350) and weed covers on the development and production of coffee Variety Castillo were evaluated. Six months after planting coffee in the field, and for each of the three cover species, three different cover treatments were established 1. Plant cover over the area corresponding to the root zone (plate) and over the coffee streets, 2. Only in the streets while adding mulch at the plate, and 3. In the streets and without plate coverage. Thus a total of nine treatments and a control-free coverage were established. A completely randomized design with 6 replications was used, which was later subjected to post blocking (three blocks) to enhance the power of statistical comparisons. Grain production and physical quality were evaluated for three years. Data were subjected to analysis of variance, Dunnett, and Tukey tests, and orthogonal contrast comparisons with 5% probability. The peanut forage, the weed cover over plates and streets, and the addition of mulch treatments in the root zone did not affect coffee development and production. Desmodium adversely affected plant development and production.

**Keywords:** Soil conservation, weeds, coffee zone.

---

\* Investigador Científico I y tesista, respectivamente. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

\*\* Ingeniero Agrónomo. M.Sc. Docente Facultad Ciencias Agropecuarias. Universidad de Caldas.

Los dos primeros años de establecimiento del café son críticos desde el punto de vista de la erosión, ya que se requiere un control de arvenses más frecuente para que el cultivo pueda desarrollarse normalmente (6). En la zona cafetera de Colombia hay gran diversidad de coberturas vegetales densas que pueden ser utilizadas para proteger los suelos de la erosión, además de reemplazar poblaciones de arvenses de difícil manejo por plantas de cobertura más manejables, con capacidad para apropiarse de nichos ocupados por poblaciones de arvenses que interfieren económicamente con el cultivo. Para esto, debe existir un balance entre los recursos que necesita la cobertura vegetal para su establecimiento y desarrollo, aquellos que utiliza el cultivo para su producción (17).

Las coberturas de leguminosas como *Arachis pintoii* Krapov. & W.C. Greg. y *Desmodium adscendens* (Sw.) DC. y las coberturas nobles, son ampliamente distribuidas y conocidas por los agricultores en la zona cafetera de Colombia. El conocimiento sobre su grado de interferencia y beneficios al sistema productivo contribuyen a su adopción, y con ello a la conservación de los suelos y aguas y a la sostenibilidad del cultivo del café.

Los experimentos en cafetales a plena exposición solar muestran cómo el manejo de las plantas, la densidad de siembra, el método de desyerba empleado, la intensidad y frecuencia de la desyerba, la presencia y mantenimiento de una cobertura noble del suelo, la eliminación de gramíneas, ciperáceas, plantas de hábito enredadera y de otras arvenses agresivas al cultivo del café mediante desyerbas selectivas y parcheos están muy relacionados con la intensidad de la erosión de los suelos y la producción de café (5).

Las coberturas nobles o arvenses de interferencia baja, referenciadas por Cenicafé,

las cuales pueden ser establecidas mediante un programa de Manejo Integrado de Arvenses (MIA), permiten la conservación del suelo sin afectar la productividad y la disminución de los costos de producción (7). El MIA tiene en cuenta las tres dimensiones de la sostenibilidad (social, ambiental y económica) y de esta forma trata de disminuir la interferencia de las arvenses, al proporcionar condiciones favorables para el desarrollo del cultivo en todas sus etapas (14); el MIA tiene en cuenta los efectos directos e indirectos sobre el medioambiente y el hombre, tales como: La degradación de los suelos y aguas, la acumulación de sustancias tóxicas en los productos cosechados, los daños ocasionados a los cultivos, la fauna y la flora, el desarrollo de resistencia de las arvenses a herbicidas y los riesgos para la salud de las familias (14). En el MIA, la desyerba en la zona de raíces del cultivo es uno de los componentes de mayor participación en la estructura de costos, y por ende, es una labor donde la investigación puede contribuir a disminuir los costos de producción (9). La recomendación actual de Cenicafé es mantener libre de cobertura vegetal viva la zona de raíces del cultivo, debido a la superficialidad del sistema de raíces del mismo, sin embargo no se tienen resultados de investigación en este sentido (14).

En Colombia y otros países se han llevado a cabo diversos estudios sobre coberturas vegetales asociadas al café pero la mayoría de ellos han evaluado la capacidad y rapidez de establecimiento de éstas en los diferentes ecosistemas, además de su producción de biomasa y proteínas; sin embargo, son escasos los estudios que evalúan la interferencia, lo cual es necesario para conocer el verdadero beneficio de su utilización como coberturas vivas en la conservación del suelo sin afectar los rendimientos de los cultivos.

En Costa Rica, Arias *et al.* (1) encontraron que después de algunos meses de establecida la cobertura con maní forrajero, varias de las plantas presentaban clorosis por competencia con el cultivo del café. En la época seca algunas plantas presentaron necrosis en ramas y tallos, hasta ocasionar altos porcentajes de muerte descendente. En los ensayos con la cobertura, las producciones fueron inferiores a las de suelo desnudo, situación que indica que el cultivo del café es muy sensible al asocio con otras plantas, cuando éstas se sitúan en la banda de fertilización. Los análisis foliares no manifestaron una diferencia clara en los contenidos nutricionales entre los tratamientos con y sin cobertura, por lo que se supone que la limitante o competencia con el cultivo se debió principalmente a la extracción de agua. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Vargas (19) en el cultivo de plátano.

En un experimento llevado a cabo en Costa Rica, se observó como *A. pintoii* tuvo una pobre emergencia a los 30 días después de plantado, por lo que fue necesaria una resiembra, aunque a los 90 días en la época de inicio de las lluvias empezó una etapa de crecimiento vigoroso, lo cual demuestra que el establecimiento y desarrollo del maní es determinado por la humedad del suelo, alcanzando una cobertura de casi un 80% a los 150 días después de plantado; además, en esta investigación se destaca su hábito de crecimiento rastrero como característica conveniente para un cultivo de cobertura (18).

Marín *et al.* (11), mediante estudios realizados en Cenicafé recomiendan el asocio de maní forrajero con el cultivo de café a partir de la etapa de plántula en el almácigo o por medio de siembra directa en la zona de raíces de los cafetos en el campo, con el fin de proteger los suelos contra la erosión y disminuir las labores de manejo

de arvenses. Los resultados de este estudio mostraron como después de 14 meses hubo en promedio una diferencia de 2 cm en la altura de las plantas de café a favor del tratamiento que utilizó desyerbas permanentes, sin embargo en el mismo periodo de tiempo se habían realizado siete desyerbas, contra el tratamiento de las plantas con cobertura de maní forrajero, en el cual no se realizó alguna desyerba, demostrando así la disminución en las labores de las desyerbas. No obstante, no se reportaron registros de producción del cultivo que demostraran con certeza la factibilidad económica y agronómica de dicha práctica.

Estudios realizados en Venezuela reflejaron una buena adaptación del maní forrajero en el cultivo del café, con un porcentaje de establecimiento del 100% en el primer año, al desplazar las plantas indeseables. Sin embargo, reportan que los gastos de siembra e instalación del material fueron elevados, con un número de 240 horas de trabajo en la parcela demostrativa de 625 m<sup>2</sup>, frente a 112 horas gastados tradicionalmente por el productor en una hectárea para el control de arvenses, sin embargo existió un ahorro tanto económico como ambiental al reducir en un 100% el uso de herbicidas químicos (12).

El objetivo de esta investigación fue determinar la interferencia de algunas coberturas vegetales de protección del suelo en la zona de raíces y entre calles del cultivo del café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Central Naranjal de Cenicafé, municipio de Chinchiná, Caldas, Colombia, localizada en la vertiente occidental de la cordillera Central, a 04° 59' de latitud Norte y 75° 39' de longitud Oeste, con una altitud de

1.400 m, temperatura media de 21,6°C y precipitación anual de 2.600 mm, en un Andisol (16) cuyas características físicas y químicas se presentan en la Tabla 1.

Para el establecimiento del experimento se utilizaron árboles de café Variedad Castillo® La Trinidad (*Coffea arabica* L.) de 6 meses de edad, sembrados a una distancia de 1,5 x 1,5 m, con una estructura de dos ejes o tallos productivos por sitio. Como plantas de cobertura se utilizaron maní forrajero (*Arachis pintoii* c.v. CIAT 17434) (3), desmodium (*Desmodium adscendens* cv CIAT 350) y cv maquenque y coberturas nobles propias de la zona según la descripción de Gómez (7). A partir de los 6 meses después de la siembra del café en el campo, y para cada una de las especies de cobertura se establecieron tres tratamientos: 1. Cobertura en la zona de raíces (plato) y en las calles del café, 2. Sólo en las calles, con la adición de cobertura muerta proveniente del corte de arvenses (mulch) en el plato, y 3. En las calles y sin cobertura en el plato, para un total de nueve tratamientos y un testigo libre de coberturas.

Se establecieron diez tratamientos (Tabla 2), distribuidos en 60 parcelas, conformadas por 30 plantas, de las cuales 12 fueron efectivas, bajo un diseño completamente aleatorio, con seis unidades experimentales por cada tratamiento. Al inicio del experimento no se evidenció la necesidad realizar un bloqueo por gradiente de fertilidad, sin embargo para mejorar la potencia del análisis de varianza, se realizó un postbloqueo

para reducir el error experimental el cual fue asumido por los bloques, por lo anterior se dividió el área experimental en tres bloques donde el factor de bloqueo fue el gradiente de la pendiente.

Como variables de respuesta se evaluó la altura y el número de ramas principales de la planta de café (cruces), para lo cual a cada planta de la parcela efectiva se le midió la altura, desde la base de la planta hasta el ápice, y se le contó el número de cruces, desde las ramas bajas hasta el ápice, a los 9 meses después que las coberturas alcanzaron un nivel de cobertura del 70% y a 24 meses de edad del cultivo. Se evaluó la producción anual y acumulada de café cereza de 3 años y el factor de rendimiento en trilla indicador de la calidad física del grano. El análisis de los resultados se hizo mediante análisis de varianza, pruebas de comparación de Tukey, Dunnett y Contrastes ortogonales al 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Altura de la planta de café y número de ramas principales.** El análisis de varianza indicó efecto de las coberturas y su ubicación (zona de raíces y entre calles), sobre la altura de la planta de café y el número de cruces. Según prueba Dunnett al 5% sólo el tratamiento con la cobertura desmodium, establecida en platos y calles, fue diferente del testigo, con una menor altura de planta y un menor número de cruces. De igual manera, al comparar los tratamientos con la prueba Tukey al 5%, se encontró que el

**Tabla 1.** Características químicas de los suelos utilizados para el experimento en la Estación Central Naranjal en el año 2006.

pH	MO	N	K	Ca	Mg	Al	CIC	P	Fe	Mn	S
	(%)			cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> suelo					kg.mg <sup>-1</sup>		
4,7	12	0,5	0,15	1,0	0,4	1,6	22	24	230	16	24

**Tabla 2.** Tratamientos evaluados para el manejo de cobertura en platos y calles de un cafetal, en la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas).

Tratamiento	Cobertura	Localización de la cobertura
1		En platos y calles
2	<i>Arachis pintoi</i>	Solo en las calles
3		Mulch* platos y cobertura en calles
4		En platos y calles
5	<i>Desmodium adscendens</i>	Solo en las calles
6		Mulch platos y cobertura en calles
7		En platos y calles
8	Arvenses nobles	Solo en las calles
9		Mulch platos y cobertura en calles
10	Suelo desnudo	platos y calles

\* Cobertura proveniente del corte de las coberturas vivas o arvenses.

promedio más bajo de altura (128,2 cm) y número de cruces (20 cruces) correspondió a este tratamiento (Tabla 3).

Desmodium afectó el crecimiento de la planta de café solamente cuando fue establecida en los platos del cultivo, lo que se debe posiblemente a la competencia por agua y nutrientes, ya que en los primeros 30 cm de profundidad del suelo se encuentra el 89,9% de las raíces totales y el 86,0% de las raíces absorbentes del café (15); lo que se explica debido a que desmodium tiene un sistema radicular con una gran cantidad de raicillas secundarias y terciarias (8, 13), que ocupan el espacio de las raíces del café y pueden consumir el agua y los nutrientes presentes en esa porción de suelo.

Las arvenses nobles después de 10 meses de establecidas no presentaron impedimentos al crecimiento del café, incluso cuando éstas fueron establecidas en la zona de raíces del cultivo (platos), lo cual difiere de la recomendación de Gómez *et al.* (6), en la que mencionan que incluso las arvenses nobles no deben superar el 15% de cobertura en el plato, debido a la superficialidad del sistema radical del cafeto.

El maní forrajero tampoco generó impedimentos al desarrollo de las plantas de café cuando se estableció en calles y platos, al igual que el desmodium (Tabla 3) cuando fue establecido sólo en calles, por tal motivo se pueden considerar especies potenciales para su utilización como coberturas vegetales en el cultivo del café, ya que según Castillo y Moreno (2) la altura de la planta de café es una de las variables más importantes por su estrecha relación con la producción.

**Número de desyerbas en la zona de raíces.** En los tratamientos con coberturas vivas en platos, se realizó un menor número de desyerbas en la zona de raíces (cinco plateos) hasta los 19 meses después de la siembra de las mismas, esto dado que las coberturas presentes compitieron con las arvenses de interferencia media o alta por espacio (4), al impedir su establecimiento, lo que permitió disminuir la necesidad de operaciones. De la misma forma sucedió con la aplicación de mulch a los platos, aunque con menor efectividad, porque en los tratamientos con aplicación de mulch se realizaron seis plateos comparado con los siete requeridos en los tratamientos sin cobertura (Tabla 4).

**Tabla 3.** Efecto de los tratamientos sobre la altura de la planta de café (cm) y formación de cruces.

Tratamientos	Altura del café (cm)	Número de cruces
Maní forrajero en platos y calles	144,1 a <sup>1</sup>	23,4 a
Maní forrajero en calles	140,6 a	22,4 a
Maní forrajero como mulch en platos	143,7 a	22,9 a
Desmodium en platos y calles	128,2 b **	20,3 b **
Desmodium en calles	140,7 a	22,8 a
Desmodium como mulch en platos	145,5 a	23,4 a
MIA <sup>2</sup> en platos y calles	146,8 a	23,5 a
MIA en calles	142,4 a	23,0 a
MIA como mulch en platos	142,3 a	23,2 a
Testigo libre de coberturas	147,6	24,2

<sup>1</sup> Promedios con letras diferentes presentan diferencia estadística según prueba de Tukey al 5%.

\*\* Promedios diferentes estadísticamente con el tratamiento testigo según prueba Dunnett al 5%.

<sup>2</sup> MIA. Manejo Integrado de Arvenses con establecimiento de coberturas nobles.

**Tabla 4.** Número de operaciones de control de arvenses en la zona de raíces durante 19 meses.

Tratamiento	Número de plateos
Maní forrajero en platos y calles	5
Maní forrajero en calles	7
Maní forrajero adicionado como mulch	6
Desmodium en platos y calles	5
Desmodium en calles	7
Desmodium adicionado como mulch	6
MIA platos y calles	5
MIA calles	7
MIA adicionado como mulch	6
Testigo libre de arvenses	7

**Efecto de las coberturas vegetales en la producción.** El análisis de varianza al 5% mostró efecto de los tratamientos sobre la producción de café cereza acumulada. Se presentaron diferencias hasta del 23,6% entre el testigo sin cobertura y desmodium en calles y platos, según prueba Dunnett al 5%, a favor del primero. Desmodium en calles y platos fue también inferior y diferente a todos los tratamientos con excepción de desmodium en calle, según prueba de Tukey al 5% (Tabla 5). El análisis de varianza al

5% no evidenció efecto de los tratamientos sobre el factor de rendimiento en trilla; este factor varió entre 86,7 en el tratamiento 3 y 87,5 en el tratamiento 10.

De lo anterior se concluye que desmodium causó mayor interferencia, especialmente cuando estuvo presente en el plato del cultivo. Esta cobertura igualmente fue la que presentó mayores problemas de adaptación a las condiciones del estudio, y después de su corte se dificultó su establecimiento, debido a la presión de otras arvenses propias de la zona. El maní forrajero y las coberturas nobles en todas las combinaciones de tratamientos evaluadas no presentaron diferencias en el promedio de la producción acumulada con relación al testigo.

El análisis de contrastes al 5% demostró el efecto competitivo de desmodium y la baja interferencia del MIA y maní forrajero, tanto en calles como en platos (Tabla 6). Los resultados concuerdan con lo encontrado en cultivo de café variedad Catuaí en Brasil, por Freitas *et al.* (10), donde se evidenció alta eficiencia en la supresión de arvenses por el maní forrajero, superando el control de arvenses obtenido por medio de los métodos

manual y químico, sin que se afectara la producción del cultivo.

Las especies evaluadas presentaron buenas características agronómicas para ser utilizadas como cultivos de cobertura asociadas al cultivo del café, con uso potencial en cultivos de

café orgánico, al tener en cuenta un manejo apropiado de las mismas. Se corrobora que el MIA recomendado por Cenicafé (9,14) no afecta negativamente la productividad del cultivo del café y por ello representa una mejor opción agronómica que la siembra o cultivo de coberturas.

**Tabla 5.** Promedios y variación de la producción anual y acumulada obtenida con diferentes tratamientos de manejo de coberturas vegetales en platos y calles del cultivo de café (kg de café cereza/parcela).

Tratamiento	2007		2008		2009		Total	
	Prom.	CV%	Prom.	CV%	Prom.	CV%	Prom.	CV%
Maní forrajero platos y calles	2,1 a	22,9	54,4 a	27,2	64,6 a *	20,1	121,1 a	22,3
Maní forrajero en calles	2,1 a	21,7	51,1 a*	29,2	56,9 ab	17,6	110,1 a	21,4
Maní forrajero calles, mulch en platos	2,2 a	28,3	51,1 a*	24,9	61,2 ab	23,8	114,5 a	23,4
Desmodium platos y calles	1,6 a	36,7	33,9 a*	35,3	35,6 c	21,7	71,1 b *	26,6
Desmodium calles	2,1 a	32,2	58,3 a	28,9	40,1 c	18,7	100,5 ab	21,5
Desmodium calles, mulch en platos	1,8 a*	25,3	55,6 a	31,1	47,6 bc	33,5	105,0 a	30,7
Arvenses nobles platos y calles	2,1 a*	17,9	57,0 a	38,8	59,4 ab	20,7	118,5 a	26,7
Arvenses nobles en calles	2,2 a	18,3	59,2 a	38,9	58,3 ab	14,4	119,7 a	25,6

Letras iguales entre valores indican similitud estadística entre tratamientos según análisis de varianza y prueba de Tukey al 5%. \* Indica diferencia estadística del tratamiento con el testigo según prueba de Dunnett al 5%.

**Tabla 6.** Comparación mediante la prueba de contrastes ortogonales del promedio de la producción de café cereza acumulada, obtenida en diferentes grupos de tratamientos de interés

Contraste	GL	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F
Plato con coberturas vivas vs. Plato sin coberturas	1	199,035003	0,64	0,4265
Plato con coberturas vivas vs. Plato con mulch	1	2,94516	0,01	0,9227
Plato sin coberturas vs. Plato con mulch	1	247,258175	0,8	0,3759
Calle y plato sin coberturas vs. Calle y plato con coberturas vivas	1	315,657945	1,02	0,3176
Calle y plato sin coberturas vs. Plato con coberturas vivas	1	2,534335	0,01	0,9283
Calle y plato sin coberturas vs. MIA	1	100,570048	0,32	0,5713
Calle y plato sin coberturas vs. Maní forrajero	1	24,70085	0,08	0,7788
Calle y plato sin coberturas vs. Desmodium	1	3514,302531	11,36	0,0015

GL. Grados de libertad del análisis. MIA: Manejo Integrado de Arvenses. Plato se refiere al área de suelo debajo del dosel del árbol.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento por los aportes hechos al trabajo a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Caldas, al Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, a los colaboradores de la Estación Central Naranjal, en especial al los Ingenieros Agrónomos Juan Carlos García López y José Raúl Rendón Sáenz. A la Disciplina de Suelos de Cenicafé, en especial a los doctores Siavosh Sadeghian y Édgar Hincapié. A la Señora María Lucero Arias Velásquez colaboradora de Cenicafé y al Departamento de Gestión Administrativa de Cenicafé.

## LITERATURA CITADA

1. ARIAS V., J.E.; CAMPOS C., E.; BERNAL C., J.; OBANDO J., J.J.; RODRÍGUEZ C., G. Estudio del comportamiento de coberturas en el cultivo del café. San José de Costa Rica : InfoAgro, 1996. [en línea]. Disponible en internet: <http://www.infoagro.go.cr/Agricola/tecnologia/cafe97/cafe9.htm>. Consultado en Julio 18 de 2006.
2. CASTILLO Z., L.J.; MORENO R., L.G. La variedad Colombia: Selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del café. Manizales : Cenicafé, 1987. 169 p.
3. CIAT. Programa de forrajes tropicales: Informe anual 1990. Cali : CIAT, 1990.
4. DE LA CRUZ, R.; SUÁREZ, S.; FERGUSON, J.E. Contribución de *Arachis pintoi* como cobertura del suelo en algunos sistemas de explotación agrícola de América Tropical. p. 110-116. En: Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Cali : CIAT, 1995.
5. FNC. Cuarenta años de investigación de Cenicafé: Suelos. Chinchiná : Cenicafé, 1982. 68 p.
6. GÓMEZ A., A.; RAMÍREZ H., C.J.; CRUZ K., R.G.; RIVERA P., J.H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera colombiana. Chinchiná : FEDERACAFÉ: Cenicafé, 1985. 254 p.
7. GÓMEZ A., A. Las malezas nobles previenen la erosión. Chinchiná : Cenicafé, 1990. 8 p. (Avances Técnicos No. 151)
8. GROF, B. Performance of *Desmodium ovalifolium* Wall. in legume/grass associations. Tropical agriculture 59:33-37. 1982.
9. HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Chinchiná: Cenicafé, 2007. 12 p. (Avances Técnicos No. 359)
10. FREITAS S., J.C.; JUNIOR DA C., A.; FERREIRA, F.A.; SILVA S., R.H.; SUSSUMU S., N. Influência da cobertura do solo com leguminosa perene no controle de plantas daninhas do café do cerrado. p. 6. En: Simpósio de Pesquisa dos Cafês do Brasil. (7 : Agosto 22-25 2011 : Araxá).
11. MARÍN N., H.; CARDONA B., M.C.; SUÁREZ V., S. Multiplicación y establecimiento del maní forrajero en cafetales. Chinchiná : Cenicafé, 1996. 8 p. (Avances Técnicos No. 230)
12. QUIROS, M.I. Uso del maní forrajero (*Arachis pintoi*) como cobertura viva en cafetales. Caracas : Fedeaagro, 2003. [en línea]. Disponible en internet: [http://www.fedeaagro.org/comunica/descargas/Descargas\\_Congreso.asp](http://www.fedeaagro.org/comunica/descargas/Descargas_Congreso.asp). Consultado en julio 12 de 2006.
13. SCHULTZE K., R.; BENAVIDES, G. Germplasm collection and preliminary evaluation of *Desmodium ovalifolium* Wall. CSIRO Division of tropical crops and pastures genetic resources communication 12:1-20. 1988.
14. SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Las arvenses y su manejo en los cafetales. p. 101-130. En: ARCILAP, J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé : FNC, 2007.
15. SUÁREZ DE C., F. Distribución de las raíces del café en un suelo franco limoso. Chinchiná : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1953. 28 p. (Boletín Técnico No. 1)
16. SUÁREZ V., S.; ÁLVAREZ J., O.J.; BALDIÓN R., J.V. Estudio detallado de suelos y clima Estación Central Naranjal. Chinchiná : Cenicafé, 1994. 87 p.
17. TEASDALE, J.R. Cover crops, smother plants, and weed management. p. 247-270. En: HATFIELD, J.L.; BUHLER, D.D.; STEWART, B.A. Integrated weed and soil management. Michigan : Ann Arbor press, 1998.
18. VALLEJOS R., M.; DE LA CRUZ, R.; MERAYO, A. Establecimiento y adaptación de coberturas vivas en el cultivo del café. p. 26-29. En: Manejo integrado de plagas. Costa Rica, 1993.
19. VARGAS, A. Cultivo de banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en presencia y ausencia de una cobertura vegetal viva (*Arachis pintoi*). Corbana 22(48):23-39. 1997.

# MICROBIOLOGÍA DE LA FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ SEGÚN SU MADUREZ Y SELECCIÓN

Gloria Inés Puerta Quintero\*; Javier Marín Mejía\*; Gabriel Angel Osorio Betancur\*\*

## RESUMEN

**PUERTA Q., G.I.; MARÍN M., J., OSORIO B., G.A. Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. Revista Cenicafé 63(2): 58-78. 2012**

Dado el potencial del mucílago de café como sustrato en fermentaciones industriales, es necesario conocer la cinética de los microorganismos involucrados en la fermentación del mucílago de café. En esta investigación se identificaron y cuantificaron las bacterias y levaduras del mucílago de *Coffea arabica*, fresco y fermentado hasta por 74 horas, a temperatura ambiente y en sistemas abiertos. El mucílago fue obtenido mecánicamente a partir de tres calidades y procesos de café, así: frutos maduros y granos clasificados por zaranda después del despulpado; frutos no seleccionados y granos clasificados por zaranda después del despulpado; frutos no seleccionados y granos no clasificados después del despulpado. Se hallaron *Lactobacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula* y *Cryptococcus* en el mucílago de café sin fermentar y se contaron de  $69 \times 10^5$  a  $357 \times 10^5$  colonias mesófilas por gramo y de  $14 \times 10^5$  a  $38 \times 10^5$  levaduras; los mayores recuentos se encontraron en el mucílago de café obtenido de frutos maduros y granos seleccionados. Las bacterias *Lactobacillus* predominaron en el mucílago fresco y fermentado de las tres calidades, aunque en el maduro el crecimiento fue mayor hasta alcanzar un recuento máximo a las 44 h. Con el tiempo de la fermentación del mucílago de café la cantidad de microorganismos aerobios alcanzó valores de  $74 \times 10^5$  a  $96 \times 10^5$ , a las 74 h. Los coliformes se redujeron debido a la acidificación del medio. A las 20 h se contaron  $34 \times 10^5$  levaduras, estos recuentos aumentaron significativamente hasta  $150 \times 10^5$ , después de las 68 h, con respecto a los tiempos previos.

**Palabras clave:** Beneficio húmedo, *Lactobacillus*, levaduras, *Enterobacteriaceae*, cinética.

## ABSTRACT

Given the potential of the mucilage of coffee as a substrate in industrial fermentations, it is necessary to know the kinetics of the microorganisms involved in the fermentation of the mucilage of coffee. This research quantified and identified bacteria and yeasts of the mucilage from *Coffea arabica*, fresh and fermented for up to 74 hours at room temperature and in open systems. The mucilage was mechanically obtained from three qualities and processes of coffee: ripe fruits and grains classified by sieve after pulping, not selected fruits and grains classified by sieve after pulping, not selected fruits and grains unclassified after pulping. *Lactobacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Flavobacterium*, *Escherichia*, *Saccharomyces*, *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodotorula* and *Cryptococcus* were found in unfermented coffee mucilage and counted from  $69 \times 10^5$  to  $357 \times 10^5$  mesophilic colonies per gram and  $14 \times 10^5$  to  $38 \times 10^5$  yeasts, higher counts were found in the coffee mucilage obtained from selected ripe fruits and grains. The *Lactobacillus* bacteria predominated in fresh and fermented mucilage of the three qualities, but in the mature growth was greater to a maximum count at 44 hours. Over time of fermentation of coffee mucilage amount of aerobic microorganisms reached values from  $74 \times 10^5$  to  $96 \times 10^5$  at 74 hours. Coliforms were reduced due to acidification of the medium. At 20 hours  $34 \times 10^5$  yeasts were counted and after 68 hours these counts were significantly increased compared to previous times, to  $150 \times 10^5$ .

**Keywords:** wet processing, *Lactobacillus*, yeasts, *Enterobacteriaceae*, kinetics.

\* Investigador Científico III. Disciplina de Calidad, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

\*\* Bacteriólogo y Laboratorista Clínico, respectivamente. Universidad Católica de Manizales

Las fermentaciones son procesos catabólicos de oxidación de sustancias orgánicas, principalmente azúcares que se transforman en energía y en compuestos más simples como etanol, ácido láctico, ácido acético y ácido butírico. Estos procesos son desarrollados por las enzimas naturales que producen las bacterias y levaduras presentes en los sustratos. Los productos de las fermentaciones dependen del tipo de bacterias y levaduras, de la composición del sustrato y de las condiciones externas (19, 30).

El café Arábica de Colombia se procesa en las fincas mediante el beneficio húmedo que comprende varias etapas. En la primera, se retira la pulpa del fruto en la operación de despulpado, luego se remueve el mucílago mediante el desmucilagador o por la fermentación natural, después con el lavado se retiran los productos de degradación del mucílago, y finalmente, en el secado se reduce la cantidad de agua del grano pergamino. Para asegurar la buena calidad e inocuidad del café se recomienda la aplicación de buenas prácticas de higiene y agricultura en los procesos del café en la finca (17, 20, 21, 22).

Debido a las condiciones climáticas de las zonas cafeteras colombianas, en un cafetal se pueden encontrar diversos estados de maduración del fruto al momento de la cosecha y no es posible recolectar solo frutos maduros. Por consiguiente, para homogeneizar la calidad de la materia prima y controlar el proceso, se requiere realizar en el beneficio operaciones de separación de impurezas, frutos y granos verdes, secos y severamente brocados y deteriorados, así: en el recibo para clasificar y seleccionar el fruto maduro y sano; y en la etapa del despulpado para obtener granos de café en baba de mejor calidad, que pasarán al desmucilagador o a la fermentación (17). Para estas selecciones

se separadores hidráulicos, tanques sifón, zarandas de motor, zarandas manuales, y separaciones manuales, entre otras (26).

Como producto vegetal, los frutos de café y sus partes contienen determinados microorganismos. De esta forma, en el mucílago de café se encuentran naturalmente bacterias y levaduras que se adaptan a la composición química y acidez de este sustrato y a las condiciones como la temperatura externa. Además, su carga microbiana se puede modificar por el contacto con el aire, suelos, aguas, animales, insectos, superficies y por la manipulación del grano de café por las personas.

En la literatura se reportan varios trabajos sobre los microorganismos presentes en la fermentación del café, así: en Colombia, Scharrer (29) sugirió que la degradación del mucílago de café se debe a levaduras; Frank *et al.* (8), Pee y Castelein (16) y Castelein y Pilnik (7), indicaron que los siguientes microorganismos de la fermentación del café producen pectinasas: *Erwinia dissolvens*, *E. herbicola*, *E. paracolobactrum*, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia sp.*, *Saccharomyces marxianus*, *S. bayanus*, *S. cerevisiae* var. *ellipsoideus* y *Schizosaccharomyces* ssp.

Archila (1) contó los aerobios mesófilos, hongos, levaduras, *Enterococcus* y *Streptococcus* en frutos de café, café en baba, café fermentado, aguas de despulpado y aguas de lavado de una finca cafetera de Cundinamarca e indicó que la manipulación del café, la cosecha y el transporte “contaminan el grano” y que en la fermentación proliferan varios microorganismos, pero que en el agua residual no se encontraron patógenos debido al pH ácido, de 3,72 a 4,53 en aguas de despulpado y de 3,73 a 4,21 en aguas de lavado.

López *et al.* (13) analizaron microorganismos y ácidos orgánicos en frutos de café que se almacenaron antes de beneficio, en granos durante la fermentación y en granos pergamino almacenados por 9 meses, a 20°C y 75% de humedad relativa y a 30°C y 85% de HR. Estos autores observaron que en el almacenamiento de los frutos de café se promueve la fermentación por levaduras y bacterias anaerobias, así como en la fermentación natural donde se producen diferentes ácidos carboxílicos; también detectaron bacterias anaerobias y levaduras en granos fermentados al inicio del almacenamiento, pero con el tiempo, en lugar de levaduras encontraron hongos.

En los granos de café en fermentación, Puerta *et al.* (24) identificaron levaduras y bacterias lácticas como microorganismos predominantes, registrando que estas bacterias acidifican el medio impidiendo la proliferación de hongos.

En México, Avallone *et al.* (4), en fermentaciones de granos de café identificaron a *Erwinia* y *Klebsiella*, las cuales además crecieron en medio de pectina de manzana; así mismo identificaron a *Leuconostoc mesenteroides* como bacteria láctica predominante y también hallaron *Lactobacillus brevis*. Como levaduras encontraron *Cryptococcus laurentii*, *Cryooccus albidus*, *Kloeckera apiculata* y *Candida guilliermondii*.

Avallone *et al.* (3), hallaron pectatoliasas producidas por *Erwinia herbicola* y *Klebsiella pneumoniae* con actividad óptima a pH de 8,5, mas no a los valores de pH de la fermentación del café (5,3 a 3,5); indicaron que *Leuconostoc mesenteroides* no produjo enzimas pécticas y que *Lactobacillus brevis* no es muy frecuente en la fermentación, aunque sí produjo poligalacturonasas. Así

mismo, afirmaron que la degradación del mucílago parecía estar correlacionada con la acidificación y no con actividad péctica.

Masoud *et al.* (14) analizaron por ITS-PCR y electroforesis (DGGE) las levaduras de frutos, granos despulpados, granos de fermentaciones de 1 y 2 días, granos lavados y granos en secado de café Arábica de Tanzania, con recuentos en el rango de  $4,0 \times 10^4$  a  $5,0 \times 10^7$  UFC/g, y reportaron varias levaduras en el café: *Pichia kluyveri* predominante en la fermentación y secado, *Hanseniaspora uvarum* predominante durante la fermentación, en tanto que *Kluyveromyces marxianus*, *Candida pseudointermedia*, *Issatchenkia orientalis*, *Pichia ohmeri* y *Torulaspora delbrueckii* se encontraron en concentraciones inferiores a 103 UFC/g de café. *Pichia anomala* se encontró en los frutos de café, en la pulpa y en el primer día de fermentación, en el rango de  $1,0 \times 10^3$  a  $3,0 \times 10^4$  UFC/g. Es de anotar que no aislaron en los cultivos *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida xestobii*, pero sí las detectaron por la electroforesis.

En cuando a sus componentes químicos, el mucílago de café es una sustancia viscosa que contiene en promedio de 90% de agua, 8,5% de carbohidratos, 0,9% de proteínas, 0,1% de lípidos y trazas de minerales y de ácidos y alcoholes (25). A su vez, los carbohidratos del mucílago de café se componen de 47,9% de azúcares reductores, 29,8% de azúcares no reductores, 7,3% de fibra y 15,0% de sustancias pécticas.

Dado el potencial de uso del mucílago de café como sustrato de fermentaciones industriales, es necesario conocer los microorganismos predominantes y la cinética microbiana durante la fermentación del mucílago de café Arabica de Colombia. Es así como en esta investigación se cuantificaron e identificaron

las bacterias y levaduras del mucílago de café fresco y fermentado hasta 74 horas, a temperatura ambiente y en sistemas abiertos. Se compararon los microorganismos de mucílago obtenido mecánicamente de tres calidades de café: Frutos de café maduros despulpados, a los cuales sus granos se clasificaron por zaranda y luego se desmucilaginaron; frutos de café sin selección, cuyos granos despulpados se clasificaron por zaranda y se desmucilaginaron; y frutos sin selección, los cuales se despulparon y desmucilaginaron sin selección.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** El experimento se realizó en Cenicafé, localizado a 05° 00' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con temperatura media 21,0°C, temperatura máxima 27,6°C, temperatura mínima 16,8°C y humedad relativa 77%.

**Origen del café.** Se procesaron muestras de *Coffea arabica* L. de la variedad Colombia fruto rojo. El café fue cultivado en lotes experimentales de la Estación Naranjal en Chinchiná, localizada a 04° 58' latitud Norte, 75° 39' longitud Oeste, 1.381 m de altitud, con temperatura media 20,9°C, humedad relativa del 78%, precipitación total anual de 2.782 mm, con 229 días de lluvia y 1.763 horas de brillo solar.

**Beneficio del café.** Se recolectaron frutos de café en forma selectiva, para obtener frutos maduros que se despulparon y pasaron por zaranda de motor y por desmucilaginado mecánico, en un equipo de 600 kg.h<sup>-1</sup> de café cereza, con un flujo de agua de 1,6 L.min<sup>-1</sup>, para obtener el mucílago. Una parte de los frutos de café cosechados sin selección se pasó por el mismo desmucilaginado y la misma zaranda de motor y otra se despulpó y desmucilagino seguidamente, usando los

mismos equipos, pero ningún equipo de clasificación del grano de café.

**Fermentación.** Para cada tipo de muestra se fermentaron 50 kg del mucílago de café, en canecas cilíndricas de plástico, de 37,5 cm de diámetro interno x 50 cm de altura, previamente lavadas con agua potable; los procesos de fermentación se desarrollaron en ambiente externo, en sistemas discontinuos (*batch*), estáticos y abiertos. Durante los días de ejecución de esta investigación, la temperatura del aire varió de 15,4 a 30,5°C (promedio 20,5°C), humedad relativa de 81,7% (37,0% a 98,0%), según datos climáticos de la estación meteorológica de Cenicafé.

**Análisis de las muestras.** En cada tiempo de fermentación se recolectaron 100 g de mucílago mediante recipientes asépticos, guantes de laboratorio y asas e instrumentos previamente esterilizados. La muestra inicial, en el tiempo cero, estuvo constituida en forma compuesta de la primera descarga de mucílago, de la parte intermedia y de la parte final; las muestras de los siguientes tiempos de fermentación se recolectaron de cada fermentador en forma compuesta. Las muestras se conservaron a 4°C hasta su análisis. De cada muestra se pesaron 50 g de mucílago y se aforaron a 500 mL con agua destilada estéril, dilución al 10% p/v, a partir de esta solución se realizaron diluciones consecutivas, desde 10<sup>-1</sup> hasta 10<sup>-6</sup> con agua estéril.

**Siembra e incubación.** Para el crecimiento de bacterias, por duplicado, se sembraron 0,01 mL de las diluciones 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-4</sup> en cajas con agar sangre, y 0,1 mL de las diluciones 10<sup>-3</sup> a 10<sup>-5</sup> en medio agar *plate count*; ambos se incubaron a 37°C bajo oscuridad continua, por 48 horas. Para hongos y levaduras se sembraron 0,1 mL de las diluciones 10<sup>-3</sup> a

10<sup>-5</sup>, cada una en tres cajas de agar saboraud dextrosa acidificado con ácido láctico al 44%, y se incubaron a temperaturas entre 22 a 25°C, durante 3 a 5 días.

Para los coliformes totales, se sembraron por triplicado muestras de 1 mL de las diluciones 10<sup>-1</sup> a 10<sup>-3</sup> en tubos de caldo lauril sulfato triptosa, que se incubaron a 37°C bajo oscuridad continua, durante 48 horas. Para los coliformes fecales se tomó el tubo positivo más representativo de los coliformes fecales y de éste se sembraron dos a tres lupas por triplicado, en tubos con caldo lactosado verde bilis brillante. Al mismo tiempo, cada tubo positivo se inoculó en agua triptona, para verificar la producción de indol; los tubos se incubaron a 45°C en oscuridad continua durante 48 horas.

Todas las siembras se efectuaron en cámara de flujo laminar. También se realizó un control ambiente con los correspondientes medios de cultivo y condiciones de incubación para las bacterias, hongos y levaduras. Las colonias presentes en los controles ambientes se restaron de los recuentos obtenidos de las siembras.

**Recuentos.** Se contaron las colonias de bacterias aerobias mesófilas del *plate count* agar y los hongos y levaduras de características morfológicas similares en cada medio y caja. Luego, se cuantificaron los microorganismos, según los volúmenes sembrados y las diluciones; los resultados se expresaron en unidades formadores de colonia por gramo de mucílago (UFC/g).

Para el recuento de los coliformes totales y fecales, se tomaron los tubos que mostraron producción de gas o turbidez correspondientes a una misma dilución. Los resultados se expresaron como el número más probable por gramo de muestra (NMP/g), según la tabla de McCrady (28).

**Aislamiento e identificación.** Las colonias representativas de las bacterias se sembraron en agar sangre. La identificación se efectuó mediante colorantes para determinar tinción y morfología, con pruebas bioquímicas específicas para las no fermentadoras y fermentadoras, como catalasa, oxidasa, indol, movilidad, citrato Simmons, urea, oxidación fermentación, triple azúcar hierro, rojo de metilo, nitratos, lisina hierro y bilis esculina, entre otras. También se usaron los *kits BBL Crystal* para identificación de bacterias entéricas.

Las levaduras y hongos se aislaron en agar saboraud dextrosa y papa dextrosa acidificado. Los métodos de identificación de las levaduras incluyeron pruebas bioquímicas de asimilación de azúcares y fermentación mediante *kits Minitek*. Además, se realizaron pruebas de presencia del tubo germinal, formación de clamidosporas, consumo de urea, formación de nitratos, formación de pseudohifas y crecimiento a 37°C, entre otras.

Para el aislamiento de los coliformes fecales se repicaron los tubos positivos en caldo verde bilis brillante, en medios selectivos eosina azul de metileno, xilosa lisina desoxicolato y MacConkey, además, se efectuaron otras pruebas bioquímicas específicas para su identificación.

**Diseño experimental.** Se evaluaron dos factores: El efecto de la calidad del mucílago y del tiempo de fermentación, así, tres calidades de mucílago proveniente de 1. Frutos cosechados maduros y granos despulpados clasificados por zaranda, 2. Frutos de café sin selección y granos despulpados clasificados por zaranda, y 3. Frutos sin selección y granos sin clasificación; por diez tiempos de fermentación para el café maduro y para el café sin selección y sin zaranda (0, 4, 8, 20, 26, 31, 44, 52, 68 y 74 horas ) y seis tiempos de fermentación para el café sin

selección y con zaranda (0, 4, 8, 20, 26, 31 y 44 horas). El experimento se repitió tres veces, para un total de 78 muestras analizadas.

**Variables medidas.** Recuentos de bacterias mesófilas, hongos y levaduras, coliformes totales y fecales. Microorganismos identificados en cada muestra.

**Análisis de resultados.** Se determinaron el promedio y la desviación típica para cada variable en cada tiempo de fermentación, para cada calidad de mucílago de café fermentado. Además, se compararon los promedios entre los tiempos y entre las calidades del mucílago fermentado, mediante la prueba Duncan, con un intervalo de confianza del 95%. También se estimó la frecuencia de las bacterias y levaduras identificadas en cada tiempo, con respecto a cada grupo de microorganismos. Además, se desarrollaron curvas de ajuste para la cinética del crecimiento en el tiempo de las bacterias y levaduras en el mucílago fermentado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Aerobios mesófilos.** En este recuento se estimó la cantidad de microorganismos, principalmente bacterias, que requieren oxígeno para su desarrollo y crecen a temperaturas entre 20 y 40°C, óptimamente entre 30 y 40°C, en el tiempo de 48 horas establecido en este análisis. Estos recuentos pueden incluir levaduras, pero no hongos, los cuales requieren de más tiempo para su desarrollo.

En los recuentos no se especifican los tipos de microorganismos, sin embargo, son varias especies de las bacterias mesófilas, gram-positivas y frecuentes en plantas, que pueden crecer en este medio, que incluyen *Staphylococcus* (anaerobia facultativa), *Streptococcus* (aerotolerante

anaerobia), *Leuconostoc mesenteroides* (anaerobia facultativa), *Micrococcus* (aerobia), *Bacillus* (aerobia o anaerobia facultativa) y *Lactococcus* (anaerobia facultativa). Además, bacterias gram-negativas fermentadoras de la lactosa de la familia *Enterobacteriaceae* (anaerobias facultativas) como *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Citrobacter*; también las aerobias *Pseudomona*, *Flavobacterium*, *Acetobacter*, *Acinetobacter*.

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio de los recuentos de aerobios mesófilos determinados en las tres calidades de mucílago de café fresco y durante los tiempos de fermentación. No hubo diferencias significativas al nivel del 5% en la variable aerobios mesófilos, ni entre los tiempos de fermentación para una misma calidad de mucílago, ni entre las calidades de mucílago para un mismo tiempo. Sin embargo, se observó que la mayor cantidad de aerobios mesófilos inicial la presentó el mucílago del café maduro clasificado con la zaranda, seguida de los recuentos en el mucílago del café obtenido de frutos no seleccionados, cuyos granos sí se clasificaron por la zaranda. Este comportamiento puede deberse tanto a la manipulación de los frutos y granos como a factores externos y ambientales desde la cosecha hasta el beneficio del café. Por lo tanto, el recuento de aerobios mesófilos en el mucílago de café fresco puede ser un indicador de la calidad y manipulación del sustrato a fermentar.

En este estudio, el mucílago de café fresco presentó entre  $69 \times 10^5$  y  $357 \times 10^5$  colonias de bacterias mesófilas. Con el tiempo de fermentación la cantidad de aerobios mesófilos del mucílago de café presentó algunas variaciones, sobre todo en el sustrato maduro y clasificado; en general, a las 20 horas (h) de fermentación el mucílago

**Tabla 1.** Promedios del recuento de los microorganismos aerobios mesófilos en cada calidad del mucílago de café, durante la fermentación a temperatura ambiente.

Tiempo de fermentación (horas)	Microorganismos aerobios mesófilos UFC x 10 <sup>5</sup> /g mucílago de café					
	Maduro con zaranda		Sin selección con zaranda		Sin selección sin zaranda	
	Promedio	Desviación típica	Promedio	Desviación típica	Promedio	Desviación típica
0	357 a	274	270 a	26	69 a	62
4	218 a	182	147 a	32	56 a	23
8	243 a	148	377 a	235	106 a	11
20	275 a	214	554 a	555	108 a	16
26	247 a	138	-	-	91 a	51
31	309 a	253	457 a	499	67 a	37
44	288 a	247	476 a	455	29 a	6
52	189 a	229	-	-	44 a	46
68	55 a	49	-	-	69 a	84
74	74 a	56	-	-	96 a	115

Valores promedio con letras distintas entre tiempos, para cada calidad de mucílago de café procesado, indican diferencias estadísticas, Duncan al 5%.

presentó de  $108 \times 10^5$  a  $275 \times 10^5$  de bacterias y a las 74 h de  $74 \times 10^5$  a  $96 \times 10^5$ , mientras que Puerta *et al.* (24) reportaron de  $100 \times 10^5$  a  $300 \times 10^5$  de colonias aerobias a las 4 h de fermentación por gramo de café en baba. Por su parte, Avallone *et al.* (4), reportaron  $250 \times 10^5$  colonias de microorganismos totales por mililitro de mucílago de café al inicio de una fermentación y  $1.350 \times 10^5$  a las 15 h.

En productos fermentados es normal que estos recuentos aumenten con el tiempo de proceso, a su vez, la disminución posterior se debe al consumo de sustrato y al cambio de las condiciones del sustrato, el cual se acidifica con la fermentación (25).

**Coliformes.** Los coliformes son bacterias gram-negativas aerobias y anaerobias facultativas de la familia *Enterobacteriaceae* que no forman endosporas, poseen forma de bacilo y crecen a temperaturas entre 31 y 37°C. Los coliformes totales se encuentran en suelos, vegetales, aguas, alcantarillas, tracto intestinal y comprenden los géneros *Escherichia*,

*Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*, *Hafnia*, *Klebsiella* y *Proteus*, entre otras.

Por su parte, *Escherichia coli* es la bacteria más representativa de los coliformes fecales, hace parte de la población bacteriana de los intestinos de los humanos y animales de sangre caliente, y por lo tanto, se usa como principal microorganismo indicador de contaminación fecal del agua y de los alimentos (6, 10, 30).

En las Tablas 2, 3 y 4 se presentan los valores promedio de los recuentos de coliformes totales y fecales en el mucílago de café y las diferencias estadísticas en los recuentos de estas bacterias entre los tiempos de fermentación, para cada calidad de mucílago. La cantidad de coliformes totales (NMP/g) en el mucílago de café disminuyó con el tiempo de fermentación, con algunas diferencias significativas entre tiempos para una misma calidad de mucílago. Por el contrario, para esta variable no se detectaron diferencias significativas entre las calidades

de mucílago de café, para un mismo tiempo de fermentación.

Se destacó el número elevado de coliformes fecales en el mucílago fresco de las tres calidades, así como a las 4 h en el mucílago que se clasificó con la zaranda, valores que resultaron significativamente mayores a los determinados en las siguientes horas de fermentación. Por el contrario, en el mucílago de café sin selección y no manipulado por zaranda, solo se detectó 0,001% y 0,004% de *E. coli* con respecto a los totales en el mucílago fresco y a las 4 h, posteriormente no se detectaron coliformes fecales en este tipo de mucílago.

De otra parte, al comparar los conteos de coliformes fecales de las tres diferentes calidades de mucílago se encontraron diferencias significativas hasta las 8 h de fermentación, así: a las 4 h el recuento de coliformes fecales en el mucílago de café sin selección y con zaranda fue significativamente mayor que los presentes en los otros tipos de mucílago y a las 8 h las diferencias fueron

significativas entre los mucílagos de café sin seleccionar, con un valor mayor en el mucílago clasificado por la zaranda.

En el mucílago de café se identificaron bacterias coliformes totales de los géneros *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*. *E.coli* se halló como único coliforme fecal en el mucílago de café y estuvo presente hasta las 4 h en el material sin selección, hasta las 20 h en el mucílago de café sin selección, pero clasificado con zaranda, y hasta las 31 h en el sustrato maduro y clasificado con zaranda.

Las bacterias *Enterobacter* realizan fermentaciones ácido-mixtas con la producción de ácido fórmico, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ácido acético y etanol y también butanodiólica con la producción de 2,3 butanodiol (butilenglicol) y acetoina. Por su parte, *Escherichia coli* produce ácido fórmico, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> y las *Klebsiella* realizan fermentaciones butanodiólicas (11, 12, 30).

Los coliformes pueden ser parte de los microorganismos normales del mucílago,

**Tabla 2.** Promedios de la cantidad de las bacterias coliformes totales y fecales en mucílago de café obtenido de frutos maduros y granos despulpados clasificados, durante la fermentación a temperatura ambiente.

Mucílago de café maduro y clasificado después del desulpado			
Tiempo de fermentación horas	Coliformes totales (NMP/g) (Promedio)	Coliformes fecales (NMP/g) (Promedio)	Coliformes fecales/ totales %
0	99.999 a	33.766 a	33,77
4	99.999 a	241 b	0,24
8	33.566 ab	76 b	0,23
20	66.679 ab	50 b	0,08
26	66.679 ab	30 b	0,05
31	33.707 ab	67 b	0,20
44	67.033 ab	0 b	0,00
52	33.530 ab	0 b	0,00
68	763 b	0 b	0,00
74	33.707 ab	0 b	0,00

Valores promedio con letras distintas entre tiempos, para las variables coliformes totales y fecales, indican diferencias estadísticas, Duncan al 5%.

**Tabla 3.** Promedios de la cantidad de las bacterias coliformes totales y fecales en mucílago de café obtenido de frutos sin selección y granos despulpados clasificados, durante la fermentación a temperatura ambiente.

<b>Mucílago de café sin selección y clasificado después de despulpado</b>			
<b>Tiempo de fermentación horas</b>	<b>Coliformes totales (NMP/g) (Promedio)</b>	<b>Coliformes fecales (NMP/g) (Promedio)</b>	<b>Coliformes fecales/ totales %</b>
0	99.999 a	50.006 a	50,03
4	99.999 a	67.033 a	67,03
8	33.666 ab	200 b	0,59
20	33.666 ab	15 b	0,05
31	463 b	0 b	0,00
44	33.766 ab	0 b	0,00

Valores promedio con letras distintas entre tiempos, para las variables coliformes totales y fecales, indican diferencias estadísticas, Duncan al 5%.

debido a la manipulación del fruto de café en las labores en el campo, sin embargo, el mayor número de coliformes fecales en el mucílago de café obtenido de granos clasificados se atribuye a la manipulación en esta etapa, a los equipos, a la exposición del sustrato al medio ambiente, a través de los insectos que pueden inocular este tipo de microorganismos.

Cabe recalcar nuevamente la importancia de realizar un buen mantenimiento e higiene a las instalaciones, personal, ambientes y equipos del beneficio del café incluyendo las zarandas, para que las operaciones de clasificación en el beneficio no se conviertan en un factor aportante de microorganismos contaminantes, que puedan alterar los procesos de fermentación y degradación del mucílago, y deteriorar la calidad e inocuidad del grano de café.

Al inicio del proceso de fermentación, los coliformes aprovecharon los azúcares del mucílago de café para obtener energía. Sin embargo, con el transcurrir del tiempo de fermentación cambió la temperatura, bajó el pH, aumentó la acidez del sustrato, y como consecuencia, disminuyó la proliferación de coliformes totales y fecales en el mucílago de café.

En la Tabla 5 se observa el recuento de bacterias que crecieron en el medio agar sangre, las cuales se identificaron como *Enterobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Pseudomonas cepacia*, *Escherichia coli*, *Flavobacterium odoratum*, además, *Listeria* (anaerobia facultativa y *Lactobacillus* (microaerófila).

La cantidad de estas bacterias en el mucílago de café obtenido de frutos sin selección y granos no clasificados por la zaranda resultó menor que los recuentos encontrados en las muestras clasificadas, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas entre calidades de mucílago de café fermentado, para algún tiempo de fermentación. Sin embargo, resultó notorio el mayor recuento de estas bacterias en el café maduro y clasificado, que puede deberse a la mayor cantidad del sustrato en este grano (25) y también a la manipulación del café con las manos y con la zaranda.

Por el contrario, se observaron diferencias en los crecimientos de estas bacterias con el tiempo de fermentación, así: para el mucílago maduro, el número de bacterias a las 44 h se diferenció del recuento inicial, a las 4 h y a las 74 h, y también los recuentos a las 26 y 31 h se diferenciaron de los de

**Tabla 4.** Promedios de la cantidad de las bacterias coliformes totales y fecales en mucílago de café obtenido de frutos sin selección y granos despulpados sin clasificación, durante la fermentación a temperatura ambiente.

Mucílago de café sin selección y clasificado después de despulpado			
Tiempo de fermentación horas	Coliformes totales (NMP/g) (Promedio)	Coliformes fecales (NMP/g) (Promedio)	Coliformes fecales/ totales %
0	99.999 a	1 a	0,001
4	33.766 ab	1 a	0,004
8	33.766 ab	0 a	0,00
20	747 b	0 a	0,00
26	33.666 ab	0 a	0,00
31	33.450 ab	0 a	0,00
44	33.713 ab	0 a	0,00
52	33.513 ab	0 a	0,00
68	33.364 ab	0 a	0,00
74	103 b	0 a	0,00

Valores promedio con letras distintas entre tiempos, para las variables coliformes totales y fecales, indican diferencias estadísticas, Duncan al 5%.

las primeras 4 h; por el contrario, en el café sin selección pero clasificado por la zaranda, el crecimiento de estas bacterias no resultó significativo en el tiempo, mientras que en el mucílago de café no seleccionado, los recuentos de estas bacterias resultaron mayores a las 31, 44, 52, 68 y 74 h y se diferenciaron de los recuentos iniciales.

En la Figura 1 se observa la frecuencia de bacterias en el mucílago de café, según el tiempo de fermentación y la calidad del mucílago de café. En el mucílago de café maduro y clasificado, el 33% de la población inicial eran *Lactobacillus* y otro 33% del género *Enterobacter*, 16,7% *Flavobacterium* y 16,7% *Klebsiella*. Durante la fermentación de esta calidad de mucílago no se encontraron *Flavobacterium* y *Klebsiella*; de otra parte, las bacterias del género *Enterobacter* disminuyeron desde el inicio de la fermentación y después de las 20 h no fueron detectadas. Por el contrario, las bacterias fermentadoras del género *Lactobacillus* crecieron desde las primeras horas del proceso hasta predominar.

En el caso del mucílago de café fresco obtenido de frutos sin selección y de granos clasificados por zaranda, se presentó predominio de *Enterobacter* en un 60%, seguido de *Flavobacterium* y *Lactobacillus* en un 20% cada una. Igualmente, *Flavobacterium* no sobrevivió la fermentación y las *Enterobacter* no se detectaron después de las 8 h. Sin embargo, es de destacar la presencia de *Escherichia coli* que representó el 40% a las 4 h, luego disminuyó, aunque a las 30 horas representó un 25% de la población de bacterias. Igualmente *Lactobacillus* predominó desde las 8 h de fermentación en esta calidad de mucílago de café.

Por otro lado, en el mucílago de café fresco obtenido de frutos y granos sin selección se observó presencia de igual proporción de *Pseudomona*, *Enterobacter* y *Escherichia*, y un 50% de *Lactobacillus*. En esta calidad de mucílago de café solamente las bacterias lácticas continuaron su crecimiento, desde las 8 h de fermentación, las demás murieron.

**Tabla 5.** Promedios de los recuentos de bacterias identificadas en el mucílago de café durante la fermentación, para cada calidad de café procesado.

Tiempo de fermentación (horas)	Recuentos de las bacterias identificadas <i>Enterobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Pseudomona</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Flavobacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> y <i>Listeria</i>					
	UFC x 10 <sup>5</sup> /g mucílago de café					
	Maduro con zaranda		Sin selección con zaranda		Sin selección sin zaranda	
	Prom.	Desviación típica	Prom.	Desviación típica	Prom.	Desviación típica
0	76 c	65	108 a	117	12 b	15
4	54 c	49	98 a	93	34 ab	50
8	114 abc	76	69 a	38	61 ab	56
20	221 abc	137	177 a	95	50 ab	28
26	248 ab	155	-	-	52 ab	29
31	257 ab	177	206 a	161	92 a	10
44	290 a	164	139 a	164	88 a	18
52	225 abc	99	-	-	92 a	38
68	204 abc	72	-	-	90 a	85
74	56 c	60	-	-	103 a	91

Valores promedio con letras distintas entre tiempos, para cada calidad de mucílago de café, indican diferencias estadísticas, Duncan al 5%.

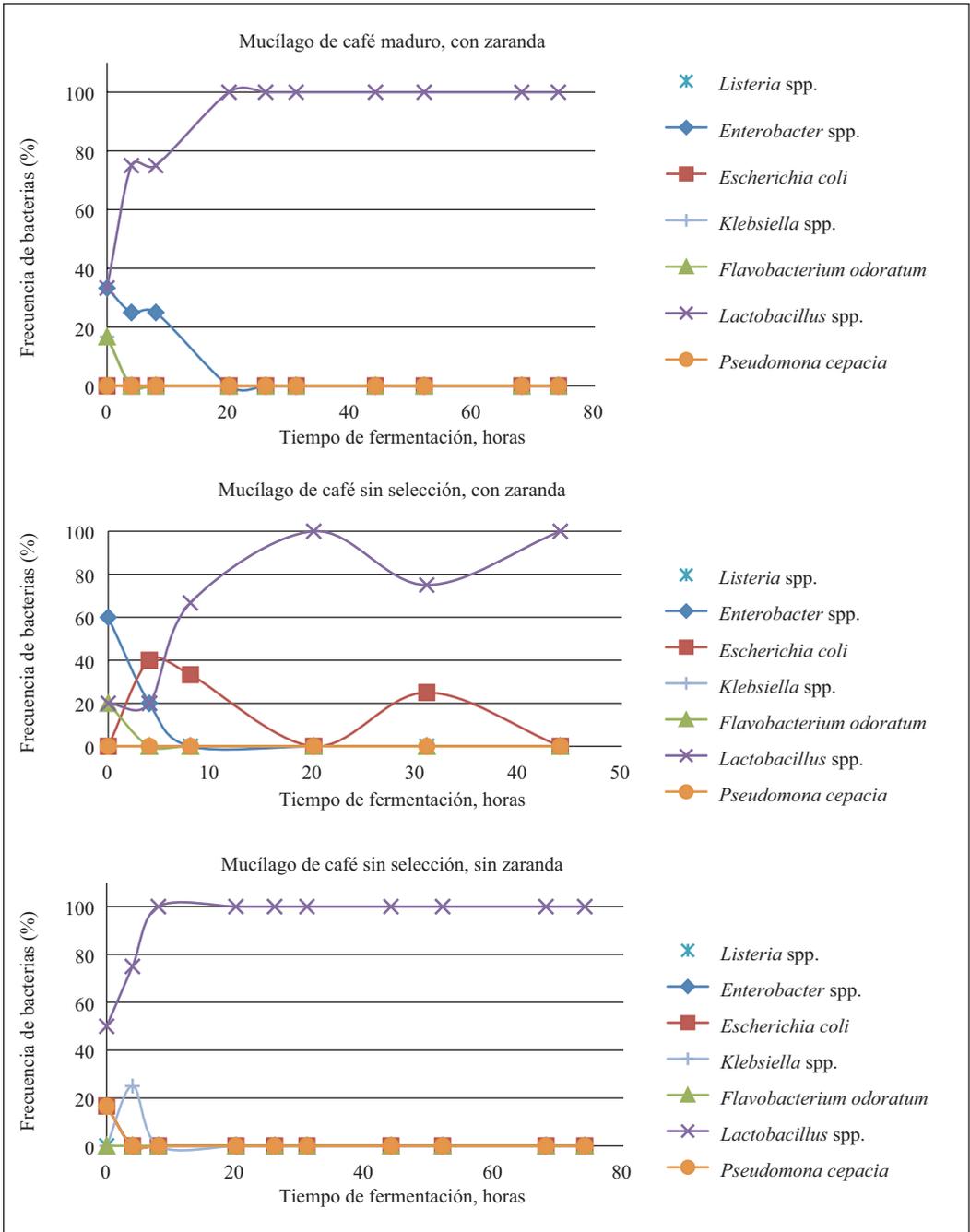
La presencia de bacterias del género *Enterobacter* desde el tiempo cero indica que estos microorganismos son normales en la población microbiana del mucílago; este género de microorganismos es frecuente en materiales vegetales, aunque también pudo ser aportado mediante la zaranda y la manipulación (6, 30). Posteriormente, estas bacterias desaparecieron durante la fermentación debido a la acidificación que es una condición desfavorable para el crecimiento y desarrollo de estos microorganismos.

Así mismo, la aparición de *Escherichia coli*, *Pseudomona cepacia* y *Flavobacterium odoratum* en el mucílago de café fresco se atribuye a contaminaciones a través de las labores culturales y de manipulación de los frutos y granos durante el procesamiento. Igualmente *Klebsiella*, que se presentó solo a las 4 h de fermentación, se considera un contaminante externo durante el proceso de fermentación. La acidificación del medio inhibió el crecimiento de *Escherichia coli*

durante la fermentación. Por su parte, *Listeria* pudo ser un contaminante del ambiente de fermentación de las muestras.

Es de recalcar el predominio de las bacterias del género *Lactobacillus* sobre las demás bacterias durante todo el tiempo de la fermentación del mucílago de café, independientemente de la calidad del café procesado. El crecimiento de *Lactobacillus* es favorecido por los azúcares que componen el mucílago de café y por las condiciones de la temperatura ambiente en que se desarrolló la fermentación (18, 19, 25). Al mismo tiempo, los *Lactobacillus* realizan la fermentación láctica con la producción de ácido láctico que acidifica el medio e inhibe el desarrollo de otros géneros bacterianos.

En promedio, durante todo el tiempo de fermentación, *Lactobacillus* constituyó el 84% de este grupo de bacterias del mucílago de café, *Enterobacter* el 7%, *Escherichia*



**Figura 1.** Frecuencia de bacterias *Enterobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Pseudomonas cepacia*, *Escherichia coli*, *Flavobacterium odoratum*, *Lactobacillus* spp. y *Listeria* spp., en las diferentes calidades de mucilago de café, según el tiempo de fermentación.

*coli* el 4,4%. *Flavobacterium odoratum* el 1,6%, *Klebsiella* el 1,4%, *Listeria* el 0,8% y *Pseudomona cepacia* el 0,6%.

Por su parte, Puerta *et al.* (24) identificaron a *Lactobacillus* como predominante a las 4 h, conformando el 37% de las bacterias y levaduras, y al final de la fermentación un 44%. Pederson y Vaughn *et al.*, citados por Avallone *et al.* (4), indicaron que *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis* y *Leuconostoc* son bacterias frecuentes en la fermentación del café. Así mismo, Pagnoncelli *et al.* (15) identificaron a *Lactobacillus plantarum*, *L. brevis* y *L. paracasei* en la pulpa de café. Mientras que Avallone *et al.* (3, 4), mostraron que *Klebsiella* y *Erwinia* eran bacterias coliformes predominantes durante la fermentación del café y que además producían pectinasas.

El género *Lactobacillus* no es patógeno para el hombre; estas bacterias se encuentran en los vegetales y en el tracto intestinal y son muy usadas en la industria de lácteos y encurtidos. Los *Lactobacillus* crecen en medios anaerobios, pero no son sensibles al oxígeno, son anaerobios aerotolerantes o microaerófilos, toleran medios ácidos y requieren de azúcares, aminoácidos y vitaminas que en la fermentación del café son suministrados por el sustrato.

Los *Lactobacillus* homofermentativos producen ácido láctico como producto principal de fermentación e incluyen a *L. caucasicus*, *L. bulgaricus*, *L. lactis*, *L. acidophilus* y *L. delbrueckii*. Los heterofermentativos producen además de ácido láctico, dióxido de carbono, etanol, ácido acético y otros productos volátiles; en este grupo está *L. plantarum* que produce sustancias con olor a pasto verde y *L. brevis* muy usado en lácteos y panadería (12, 30).

*Klebsiella* se encuentra en el suelo y el agua, y con frecuencia en el tracto respiratorio e intestinos del hombre. *Enterobacter* es frecuente en suelos, productos lácteos, cloacas, material vegetal y en los intestinos del hombre y otros animales; estas bacterias se consideran patógenos oportunistas y producen infecciones en el tracto urinario (10, 11).

*Flavobacterium* puede encontrarse en plantas, suelos y agua, no es fermentadora, pero puede alterar carnes, mariscos, huevos y mantequilla, y crecer en hortalizas congeladas. *Pseudomona* pueden alterar el sabor de los alimentos, metaboliza diversos compuestos, produce enzimas lipolíticas y proteolíticas. *Listeria* es un bacilo que fermenta carbohidratos y produce ácido láctico (6, 11).

**Hongos y levaduras.** La mayoría de las levaduras crecen entre 25 y 35°C, aunque algunas resisten muy bajas temperaturas, también crecen a pH ácidos de 4,0 a 4,5, en aerobiosis y lentamente en anaerobiosis, fermentan principalmente azúcares, aunque las levaduras oxidativas, oxidan los ácidos orgánicos y al mismo alcohol.

En esta investigación no se encontraron hongos en el mucílago de café. Los hongos frecuentes en el café y sus partes son del género *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Trichoderma* (23, 24). En la Tabla 6 se comparan los recuentos de las levaduras del mucílago de café durante el tiempo de fermentación obtenido de las tres calidades de mucílago de café.

El número de levaduras en el mucílago de café maduro fresco resultó estadísticamente diferente de los valores de las otras calidades de mucílago; el mucílago de café maduro presentó  $38 \times 10^5$  de colonias, comparado con  $14 \times 10^5$  y  $18 \times 10^5$  que presentaron los mucílagos de café sin selección, con y sin

**Tabla 6.** Promedios de los recuentos de levaduras en cada calidad de mucílago de café, durante la fermentación a temperatura ambiente.

Tiempo de fermentación (horas)	Recuentos de levaduras (UFC x 10 <sup>5</sup> /g) en el mucílago de café					
	Maduro con zaranda		Sin selección con zaranda		Sin selección sin zaranda	
	Prom.	Desviación típica	Prom.	Desviación típica	Prom.	Desviación típica
0	38 bc	5	14 a	5	18 d	10
4	18 c	9	22 a	13	19 d	12
8	28 bc	17	38 a	10	24 cd	8
20	27 bc	25	44 a	45	31 cd	11
26	29 bc	29	-	-	41 cd	38
31	41 bc	35	56 a	69	47cd	44
44	44 bc	41	76 a	86	49 cd	15
52	79 b	38	-	-	56 bc	16
68	159 a	113	-	-	86 b	14
74	159 a	120	-	-	142 a	35

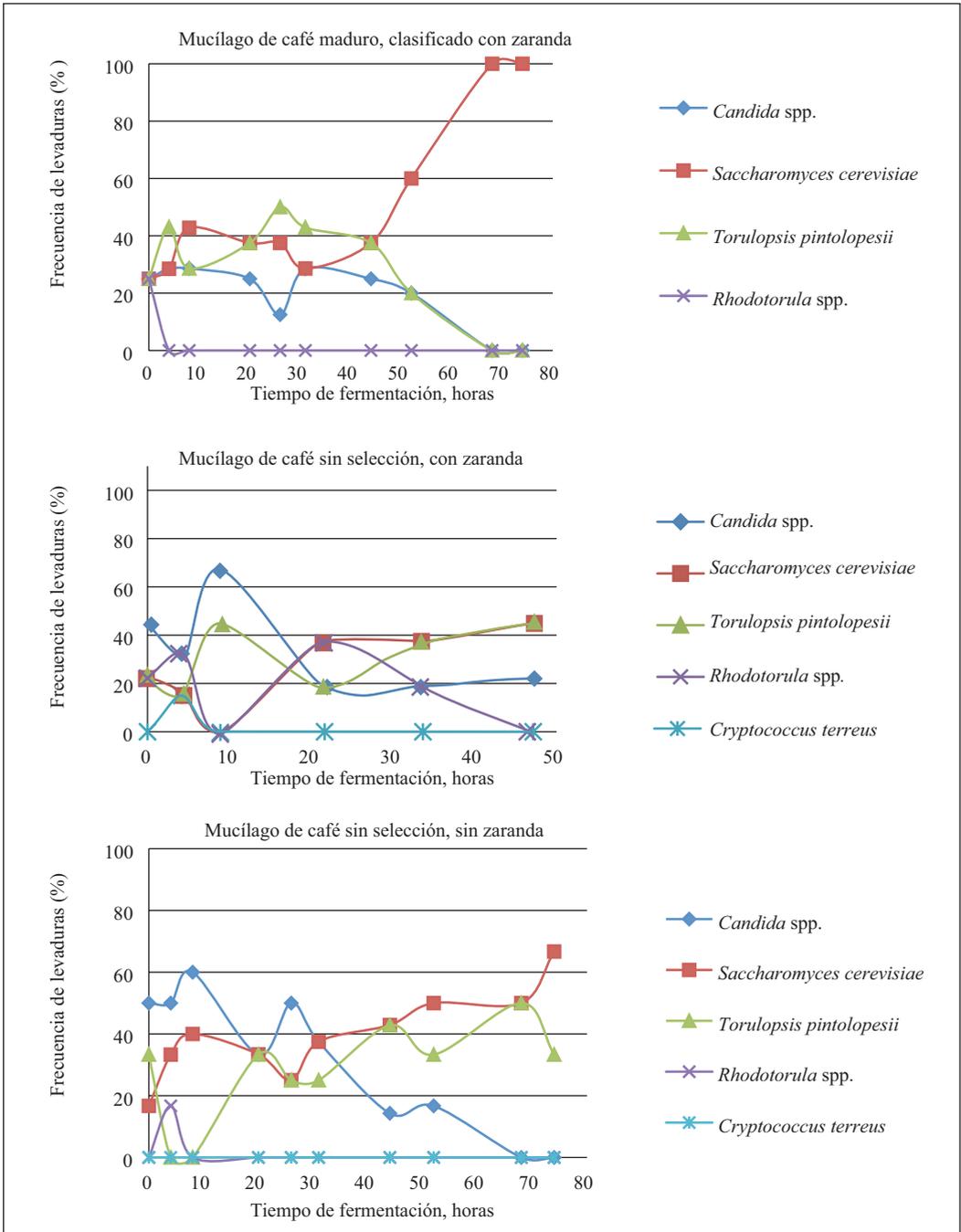
Promedios con letras distintas entre tiempos, para cada calidad de mucílago de café procesado, indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%.

clasificación por la zaranda, respectivamente. En los demás tiempos de fermentación los recuentos de levaduras fueron similares en los tres tipos de mucílago de café analizado. Se deduce que la calidad del mucílago no alteró considerablemente la cantidad de levaduras del mucílago de café durante la fermentación a temperatura ambiente.

En general, el número de levaduras se incrementó a través de todo el tiempo de fermentación en las tres calidades de mucílago de café, a las 20 h se encontraron en promedio  $34 \times 10^5$  de colonias por cada gramo de mucílago, y después de las 68 h las diferencias en los recuentos de levaduras fueron significativas con respecto a los tiempos previos de fermentación, con valores de  $150 \times 10^5$  de colonias de levaduras, en promedio.

Masoud *et al.* (14), indican que las levaduras participan y se incrementan en la fermentación del café, aunque los géneros y especies reportados en el café de Tanzania son diferentes a los encontrados en este estudio en la fermentación del mucílago de café de Colombia.

En la Figura 2 se observan las levaduras identificadas y su frecuencia con el tiempo de fermentación, para cada calidad de mucílago de café. En el mucílago de café obtenido de frutos sin selección y con zaranda después de desulpado se detectaron las siguientes levaduras: *Candida tropicalis* y *Candida* spp., *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulopsis pintolopessi*, *Rhodotorula* spp. y *Cryptococcus terreus*. En este material fresco se presentó en igual proporción las poblaciones de *Saccharomyces*, *Torulopsis* y *Rhodotorula*, mientras que *Candida* predominó con un 40%. En las primeras 8 h de fermentación *Candida* se mantuvo como el principal género de levaduras, seguidas de *Torulopsis*; a las 20 h predominaron *Rhodotorula* y *Saccharomyces*, y a partir de este tiempo *Rhodotorula* disminuyó y *Torulopsis* y *Saccharomyces* se mantuvieron en el sistema de fermentación de este mucílago de café. La presencia de *Cryptococcus* sólo a las 4 h de fermentación en esta calidad de mucílago indica que este microorganismo pudo introducirse al sustrato a través de la manipulación y exposición al medio



**Figura 2.** Frecuencia de levaduras *Candida* spp., *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulopsis pintolopesii*, *Rhodotorula* spp. y *Cryptococcus terreus* en el mucilago de café, según el tiempo de fermentación y la calidad del mucilago de café procesado.

ambiente. Así mismo, en el mucílago fresco de café maduro y clasificado con zaranda se detectaron en igual proporción levaduras de los géneros *Candida*, *Saccharomyces*, *Torulopsis* y *Rhodotorula*, que se identificaron como *Candida albicans*, *C. tropicalis*, *C. krusei*, *C. sp.*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulopsis pintolopessi* y *Rhodotorula spp.*

Es de anotar que *Rhodotorula* desapareció desde las primeras 4 h, debido posiblemente a la competencia por el sustrato con las otras levaduras; mientras que las *Candida* se mantuvieron hasta las 52 h y luego desaparecieron. Por su parte, *Torulopsis* creció hasta las 31 h y luego su población disminuyó, pero se mantuvo hasta las 52 h, después no fue detectada en este sistema. De otro lado, *Saccharomyces* creció y se mantuvo más o menos estable hasta las 44 h y luego de este tiempo, fue la única levadura que permaneció hasta las 74 h de fermentación.

Por otra parte, en el mucílago fresco obtenido de frutos y granos sin selección y sin zaranda predominó *Candida spp.*, que representó 40% de la población de levaduras, también se encontraron *Saccharomyces cerevisiae*, *Torulopsis pintolopessi* y *Rhodotorula spp.*

*Rhodotorula* desapareció desde las primeras 4 h, mientras que *Torulopsis* y *Saccharomyces* crecieron constantemente hasta las 74 h y *Candida* empezó su disminución desde las 31 h, y después de las 52 h no se encontró.

En resumen, las levaduras del género *Rhodotorula* no se mantuvieron en el sustrato o fueron inhibidas por el resto de microorganismos del mucílago. Mientras que *Candida* sobrevivió por más tiempo, pero *Torulopsis* y *Saccharomyces* predominaron en el mucílago independiente de su calidad hasta las 44 h, y definitivamente *Saccharomyces*

predominó y creció continuamente en el mucílago maduro y clasificado por la zaranda.

Avallone *et al.* (4) no registraron a *Saccharomyces* en el mucílago de café, pero sí reportan como principales géneros de levaduras en el mucílago a *Kloeckera*, *Candida* y *Cryptococcus*; además, indicaron que éstas no forman pectinasas. En otros estudios Puerta *et al.* (24) reportaron como principales levaduras en el café a las 4 h y al final de la fermentación a *Candida* y *Torulopsis* y en menor frecuencia a *Saccharomyces*; por su parte, Blandón *et al.* (5) reportaron que *Saccharomyces* y otros microorganismos fueron aportados por el mucílago fresco en las mezclas con pulpa de café que usaron para compostaje.

Kurtzman (1998), citado por Masoud *et al.* (14), encontró a *Pichia kluyveri* en cacao, mientras que Spenser *et al.* (1992) y Abranches *et al.* (2000) registraron esta levadura en frutas. *P. kluyveri*, *P. anomala* y *H. uvarum* son levaduras fermentadoras, frecuentes en suelos, frutas y árboles, según los reportes de Kurtzman (1998) y Smith (1998), citados por Masoud *et al.* (14). Además, Masoud *et al.* (14), afirman que *P. kluyveri* y *P. anomala* crecen en pectina como única fuente de carbón, y por lo tanto, pueden ser importantes en la fermentación del café. Igualmente, estos autores citan a Silva *et al.* (2000), quienes encontraron que *P. anomala* constituye el 39% de las levaduras en el café de Brasil.

El hábitat y tipo de degradación de las levaduras halladas en el mucílago de café en este estudio se resume a continuación: *Saccharomyces cerevisiae* es frecuente en hojas, flores y frutos de vegetales, realiza fermentación alcohólica con la producción de etanol, CO<sub>2</sub>, glicerina, ésteres y otros alcoholes y compuestos, esta levadura es muy

usada en la industria de bebidas alcohólicas, vinos cerveza y en la panadería.

El género *Candida* es frecuente en mucosas, boca, piel, uñas, intestinos y genitales de mamíferos y en suelos, plantas y forrajes, también produce etanol y CO<sub>2</sub> por fermentación alcohólica, lo mismo que *Torulopsis pintolopesii*, frecuente en intestinos de algunos animales. Mientras que *Cryptococcus terreus* propia de hojas de plantas y suelos no es fermentadora, aunque degrada amiláceos. Por su parte, *Rhodotorula* se encuentra en la piel, pulmones, orina, heces, hojas y suelos, no fermenta, pero produce diversas enzimas y sustancias con aromas frutales y a vainilla, altera cárnicos y se emplea en la producción de grasas (6, 30).

Algunas especies de *Candida* se usan como emulsificadores en la industria de alimentos, otras para producción de proteínas, aunque varias alteran productos ácidos y salados. Así mismo, *Torulopsis* se usa en la producción de manitol como humidificador y xilitol un edulcorante, sin embargo, varias especies alteran la cerveza, la leche, los jugos de frutas y varios alimentos ácidos (6, 30).

**Curvas de crecimiento de microorganismos en el mucílago de café.** En la Figura 3 se representan las curvas de crecimiento de las bacterias en la fermentación del mucílago de café, las cuales correspondieron principalmente a *Lactobacillus*, donde se destaca el efecto de la selección del fruto, clasificación del despulpado y manipulación del mucílago de café.

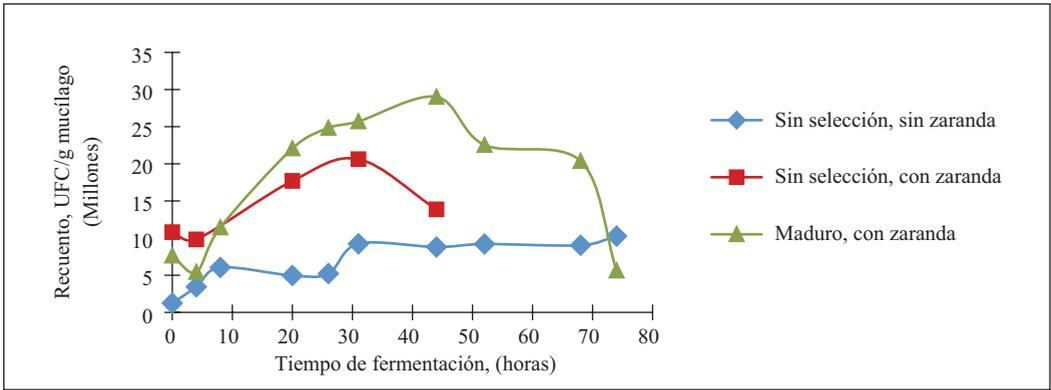
Para el mucílago obtenido de frutos maduros y granos clasificados por zaranda, las lácticas presentaron un crecimiento exponencial, más acelerado en las primeras 20 horas, hasta alcanzar un recuento máximo a las 44 horas de proceso, durante este tiempo estas

bacterias aprovecharon el sustrato maduro disponible y produjeron ácido láctico y la acidificación del medio, como fue demostrado por Puerta (18). Igualmente, el crecimiento de las lácticas en el mucílago de café sin selección fue más acelerado en el material clasificado por la zaranda, que en el proceso sin selección.

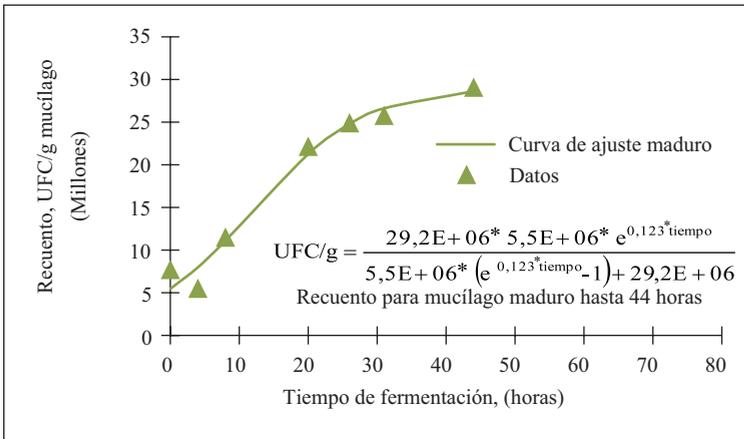
En la Figura 4 se presenta la curva de ajuste y la ecuación para el crecimiento de las bacterias lácticas en el mucílago de café maduro hasta 44 horas, después de este tiempo la población de las bacterias lácticas comenzó a disminuir. La cinética microbiana de las bacterias en el mucílago encontrada en esta investigación confirma y explica también los resultados y ecuaciones de ajuste desarrolladas por Puerta (18), para la producción de acidez, en la cinética química de la fermentación del mucílago de café.

Las levaduras se mantuvieron en un crecimiento continuo de forma exponencial (Figura 5) y fue más acelerado en el mucílago de frutos de café sin selección y granos clasificados por zaranda, seguido del maduro y clasificado.

En conclusión, el análisis microbiológico del mucílago de café de Colombia evidencia que es un sustrato propicio para el crecimiento y desarrollo de levaduras del género *Saccharomyces*, *Torulopsis* y *Candida* que fermentan sus azúcares para producir alcohol y CO<sub>2</sub>. Arias y Ruiz (2), realizaron fermentaciones del mucílago de café adicionando levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y pectinasas comerciales para producir etanol. Rodríguez (27) también produjo etanol del mucílago de café mediante adición de *Saccharomyces*. Así mismo, el mucílago de café es un sustrato donde predominan bacterias lácticas, *Lactobacillus*, que producen fermentaciones lácticas. Henao



**Figura 3.** Crecimiento de las bacterias lácticas en la fermentación del mucílago de café, según la clasificación de los frutos y granos en el beneficio.



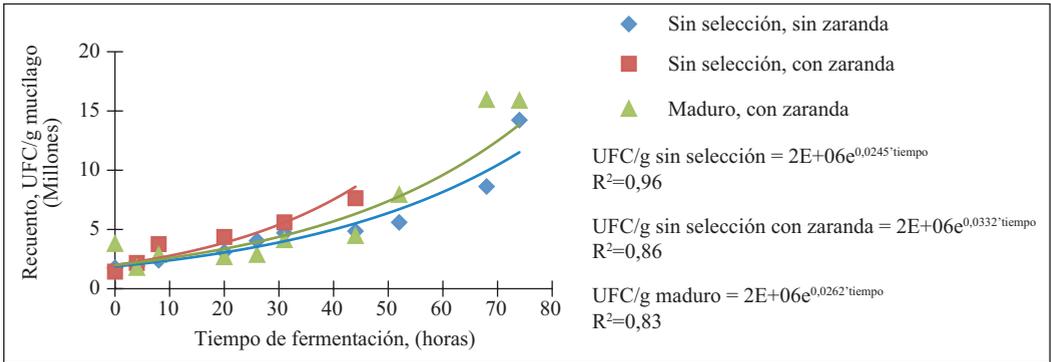
**Figura 4.** Curva y ecuación de ajuste para el crecimiento de bacterias lácticas en la fermentación del mucílago de café obtenido de frutos maduros y granos despulpados clasificados.

et al. (9) fermentaron el mucílago de café con adición de *Lactobacillus bulgaricus* y enzimas comerciales para producir ácido láctico. Éstos son apenas unos de los variados usos que se podrían dar al mucílago de café y a los microorganismos hallados en este sustrato.

Los microorganismos identificados en el mucílago de café poseen la capacidad de metabolizar los azúcares y otros compuestos, mediante diferentes tipos de fermentación y degradaciones, en especial fermentaciones lácticas y alcohólicas, con la consecuente

producción de ácidos, alcoholes, ésteres y diversas sustancias que podrían ser aprovechadas en la industrialización del mucílago.

En general, durante la fermentación natural del mucílago de café, la población de microorganismos crece a una velocidad que depende de la calidad del sustrato. Cuando el café se selecciona, se obtiene un grado de madurez y calidad de sustrato (mucílago) más homogéneos, que favorece el crecimiento y metabolismo fermentativo, en particular de las bacterias lácticas.



**Figura 5.** Curvas y ecuaciones de ajuste para el crecimiento de levaduras en la fermentación del mucílago de café, según la clasificación en el beneficio.

Sin embargo, los factores externos como la manipulación, la exposición al medio ambiente, la temperatura, la higiene y el sistema mismo de fermentación pueden incrementar y variar la cantidad de bacterias coliformes totales que causan degradaciones y fermentaciones ácido-mixtas, y por lo tanto, productos que pueden afectar la calidad de la bebida de café.

A medida que aumenta el tiempo de fermentación, baja el pH del medio y las bacterias gram-negativas disminuyen hasta desaparecer, en consecuencia este medio ácido favorece el crecimiento de las bacterias *Lactobacillus* y de las levaduras que son los microorganismos predominantes en la fermentación del café.

Es necesario enfatizar la importancia de realizar las Buenas Prácticas Agrícolas y de Higiene en las labores de cultivo, recolección y beneficio del café, para controlar la calidad del café despulpado y del mucílago. En particular, mantener la higiene en las instalaciones, personal, equipos de beneficio y zarandas, además, efectuar las clasificaciones del café en cada etapa del beneficio. De esta forma, con una mejor calidad de café en baba, se

mantendrá control de la fermentación, se evitarán otras degradaciones, se prevendrá el deterioro de la calidad de la bebida. Así mismo, el mucílago que se obtenga por el desmucilagador presentará una composición química y microbiana más homogénea y así, se podrán mejorar rendimientos en fermentaciones industriales.

## AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores de Experimentación y de la Estación Central Naranjal por el suministro del café y a Bernardo Cháves Córdoba. Esta investigación fue financiada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros y hace parte del proyecto QIN0800. Caracterización y utilización del mucílago de café.

## LITERATURA CITADA

1. ARCHILA G., M. Análisis bacteriológico de aguas residuales de beneficio de café. Bogotá : Universidad de los Andes. Facultad de Microbiología, 1985. 40 p. Trabajo de grado : Microbiólogo.
2. ARIAS, M.; RUIZ C., A.A. Fermentación alcohólica de mucílago de café con levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Ciencia y tecnología de alimentos 11(1):66-74. 2001.

3. AVALLONE, S.; BRILLOUET, J.M.; GUYOT, B.; OLGUIN, E.; GUIRAUD, J.P. Involvement of pectolytic microorganisms in coffee fermentation. *International journal of food science and technology* 37:191-198. 2002.
4. AVALLONE, S.; GUYOT, B.; BRILLOUET, J.M.; OLGUIN, E.; GUIRAUD, J.P. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current microbiology* 42:252-256. 2001.
5. BLANDÓN C., G.; DÁVILA A., M.T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y fisico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. *Cenicafé* 50(1):5-23. 1999.
6. BROCK, T.D.; MADIGAN, M.T. *Biology of microorganisms*. 6a. Ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991. 874 p.
7. CASTELEIN, J.M.; PILNIK, W. The properties of the pectate-lyase produced by *Erwinia dissolvens*, a coffee fermenting organism. *Lebensmittel wissenschaft und technologie* 9(5):277-283. 1976.
8. FRANK, H.A.; LUM, N.; CRUZ, A.S. DELA. Bacteria responsible for mucilaged-layer decomposition in Kona coffee cherries. *Applied microbiology* 13(2):201-207. 1965.
9. HENAO, L.M.; CASTRILLÓN, J.; ARIAS, M. Fermentación láctica del mucílago de café. *Ciencia y tecnología de alimentos* 11(1):58-65. 2001.
10. KRÄMER, J. *Lebensmittelmikrobiologie*. Stuttgart : Eugen Ulmer, 1987. 270 p.
11. KRIEG, N.R.; SNEATH P., H.A.; STALEY, J.T.; BRYANT, M.P.; PFENNIG, N.; HOLT, J.G. *Bergey's manual of systematic bacteriology: Volume 1*. Baltimore : Williams & Wilkins, 1984. 964 p.
12. KRIEG, N.R.; SNEATH P., H.A.; STALEY, J.T.; BRYANT, M.P.; PFENNIG, N.; HOLT, J.G. *Bergey's manual of systematic bacteriology: Volume 2*. Baltimore : Williams & Wilkins, 1984. 1599 p.
13. LÓPEZ G., C.I.; BAUTISTA R., E.; MORENO G., E.; DENTAN, E. Factors related to the formation of "overfermented coffee beans" during the wet processing method and storage of coffee. p. 373-384. En: *COLLOQUE Scientifique International sur le Café*. (13 : Aout 21-25 : 1989 : Paipa). Paris : ASIC, 1989. 783 p.
14. MASOUD, W.; CESAR, L.B.; JESPERSEN, L.; JAKOBSEN, M. Yeast involved in fermentation of coffee arabica in east Africa determined by genotyping and by direct denaturing gradient gel electrophoresis. *Yeast* 21:549-556. 2004.
15. PAGNONCELLI M., G.B.; BRAND, D.; ROUSSOS, S.; PERRAUD G., I.; AUGUR, C.; SOCCOL, C.R. Isolation and identification of lactic acid bacteria from mature coffee cherries: Potential application in coffee husk ensiling. p. 321-333. En: *NEW horizons in biotechnology*. Dordrecht : Kluwer academic, 2003. 449 p.
16. PEE, W. VAN; CASTELEIN, J.M. Study of the pectinolytic microflora, particularly the enterobacteriaceae from fermenting coffee in the Congo. *Journal of food science* 37(1):171-174. 1972.
17. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. *Chinchiná : Cenicafé*, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349)
18. PUERTA Q., G.I. Cinética química de la fermentación del mucílago del café a temperatura ambiente. En *proceso de editorial*
19. PUERTA Q., G.I. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Chinchiná : Cenicafé*, 2010. 12 p. (Avances Técnicos 402)
20. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. *Chinchiná : Cenicafé*, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 352)
21. PUERTA Q., G.I. Riesgos para la calidad y la inocuidad del café en el secado. *Chinchiná : Cenicafé*, 2008. 8 p. (Avances Técnicos No. 371)
22. PUERTA Q., G.I. Sistema de aseguramiento de la calidad y la inocuidad del café. *Chinchiná : Cenicafé*, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 351)
23. PUERTA Q., G.I.; GALLEGO A., C.P. Informes del proyecto mejoramiento de la calidad del café por medio de la prevención de formación de moho. p.v. En: *INFORME anual de actividades de investigación 2001-2004: Disciplina Química Industrial*. Chinchiná : Cenicafé, 2004. p.v.
24. PUERTA Q., G.I.; PÉREZ L., C.M.; GONZALES M., M.J. Informes de proyectos QIN0504, QIN0505, QIN0506: Estudio del defecto sabor fenólico del café y caracterización microbiológica. En: *Informe anual de actividades 1995-1996: Disciplina Química Industrial*. Chinchiná : Cenicafé, 1996. p.v.

25. PUERTA Q., G.I.; RÍOSA., S. Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62(2):23-40. 2011.
26. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná: Cenicafé, 1999. 273 p.
27. RODRÍGUEZ V., N. Avances del experimento QIN0806: Producción de alcohol carburante a partir de la pulpa y el mucílago del café. En: CENICAFE. Informe anual de actividades 2006-2007: Disciplina de Calidad y Manejo ambiental. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 78 p.
28. SALGADO C., M.T. Texto guía sobre análisis físicoquímico de leches y microbiológico de alimentos. 5a ed. Manizales : Universidad Católica de Manizales, 1992. p.v.
29. SCHARRER, R. Contribución al estudio de la fermentación del café. *Revista cafetera de Colombia* 8(110):2917-2924. 1942.
30. SCHLEGEL, H.G. *Microbiología general*. Barcelona : Omega, 1979. 448 p.

# PROPIEDADES RELACIONADAS CON LA ADSORCIÓN DE CATIONES INTERCAMBIABLES EN ALGUNOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA<sup>1</sup>

Siavosh Sadeghian Khalajabadi\*, Raúl Darío Zapata Hernández\*\*

## RESUMEN

SADEGHIAN K., S.; ZAPATA H., R. D. Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia. *Revista Cenicafé* 63 (2): 79-89. 2012

La cantidad y el tipo de catión que puede retener un suelo dependen de sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas. El siguiente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de algunas características del suelo sobre la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera de Colombia. Para ello se tomaron muestras del horizonte A en 14 unidades cartográficas de suelos, contrastantes en su origen y mineralogía. En todos los suelos se encontró el siguiente orden “natural” para retener las bases de cambio:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ , mientras que el  $\text{Al}^{3+}$  disminuyó con el incremento del pH, hasta alcanzar valores menores a  $1,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  cuando éste era mayor a 5,1. Se encontró una correlación positiva entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , más no entre éstos y  $\text{K}^+$  o  $\text{Na}^+$ . La CIC, determinada mediante el acetato de amonio molar y neutro, presentó una alta dependencia con respecto al contenido del carbono orgánico (CO), más no fue una medida de la capacidad real del suelo para retener los cationes de cambio. En suelos con  $\text{CO} < 5\%$ , la fracción arcilla mostró ser un buen reservorio para la retención de los cationes intercambiables; sin embargo, no se halló relación alguna entre esta variable y la CIC, y sólo para algunas unidades de suelos se pudo establecer cierta relación entre la mineralogía de los suelos y el contenido de elementos objeto de estudio.

**Palabras clave:** Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC, textura, materia orgánica del suelo, mineralogía, acidez.

## ABSTRACT

The quantity and type of cation that the soil can retain depend on its physical, chemical and mineralogical properties. The objective of the following study was to determine the effect of some of the characteristics of soil on the adsorption of exchangeable cations in some soils of the coffee zone of Colombia. For this, samples of horizon A were taken in 14 cartographical units of soil with different origin and mineralogy. In all of the soils the following “natural” order to retain the bases of change was found:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ , while the  $\text{Al}^{3+}$  diminished with the increment of pH until reaching values under  $1.0 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ , when it was higher than 5,1. A positive correlation was found between  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , but not between them and  $\text{K}^+$  or  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Na}^+$ . The CEC determined by molar and neutral ammonium acetate, presented a high dependency to the organic carbon (OC) content, although it wasn't a measure of the real capacity of the soil to retain the cations of change. In soils with  $\text{OC} < 5\%$ , the fraction clay showed to be a good reservoir for the retention of the exchangeable cations; nonetheless, no relation between these variables and the CEC was found, and only for some units of soils it was possible establish some relation among the mineralogy of the soils and the content of the elements studied.

**Keywords:** Cation Exchange Capacity-CEC, texture, soil organic matter, mineralogy, soil acidity.

<sup>1</sup> Fragmento de la tesis “Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona colombiana sobre la nutrición del café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo”, presentado por el primer autor para optar al título de Doctor en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional sede Medellín.

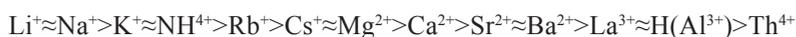
\* Investigador Científico II. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

\*\* Profesor Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Las cargas de la fracción coloidal del suelo son el mayor reservorio de nutrientes para las plantas a corto y mediano plazo (2, 11, 17). El estudio de éstas y su distribución es de fundamental importancia para entender los diferentes fenómenos físicos y químicos que ocurren en el suelo, pues la mayoría de las reacciones electroquímicas que influyen la fertilidad de los suelos y, consecuentemente, la nutrición de las plantas, tienen lugar en la superficie de los constituyentes de la fracción orgánica y mineral (1).

La carga superficial depende tanto de los componentes del suelo (minerales silicatados de la fracción arcilla, materia orgánica, óxidos de Fe y de Al, y alófanos), como la fuerza iónica y el pH de la solución del suelo, además de la adsorción específica (1). En cuanto a su naturaleza y distribución se refiere, para la mayoría de los suelos agrícolas las cargas negativas prevalecen sobre las positivas, de allí la mayor importancia que reviste la Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC con respecto a la Capacidad de Intercambio Aniónico-CIA (11).

Los cationes adsorbidos por el complejo de cambio pueden ser desplazados por



Con respecto a los suelos que cubren la zona cafetera de Colombia, por lo general se cumple el siguiente orden:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$  (14), en tanto que los contenidos del  $\text{Al}^{3+}$  guardan una relación estrecha con el pH del suelo (21, 22).

Uno de los problemas a los que diariamente se enfrentan muchos investigadores, profesionales químicos a cargo de los laboratorios, los asistentes técnicos y los agricultores es disponer de metodologías analíticas que correlacionen de manera

otros como consecuencia de diversos factores, a saber: la fuerza de adsorción del ión, su predominancia y concentración en la solución del suelo, la presencia de otros cationes en la solución y la selectividad del catión, entre otros. El anterior proceso, caracterizado por ser reversible, estequiométrico y rápido, se denomina intercambio catiónico (4, 9). La adsorción preferencial de los cationes, es decir, su selectividad, depende básicamente de la naturaleza y la cantidad de los componentes inorgánicos y orgánicos, además del potencial iónico (16, 25).

En general, existe una relación directa entre la valencia del ión y la fuerza con que es retenido por los sitios de intercambio; en este sentido, los cationes trivalentes se adsorben más firmemente que los bivalentes, y éstos a su vez son retenidos con más fuerza que los monovalentes. Adicionalmente, entre los cationes de igual carga, aquel con menor radio de hidratación o potencial iónico presenta una adsorción más firme (9, 25). La facilidad con la que se puede reemplazar un ión por otro se ha denominado serie liotrópica; un ejemplo de ello, dado por Bohn *et al.* (4) es:

confiable las propiedades del suelo con su fertilidad, y por ende, con la nutrición de las plantas (18). Al respecto, la pertinencia del uso de la CIC, como estimador de la cantidad de cationes que puede retener el suelo, ha sido frecuentemente puesta en tela de juicio, dada la sobreestimación de su valor en suelos de carga variable (5, 9). Lo anterior como consecuencia del extractante que comúnmente se emplea para determinarla, es decir, el acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) molar (1 M) y neutro (pH=7,0) (11). Fauziah *et al.* (10), luego

de evaluar siete métodos para determinar la CIC, concluyeron que para suelos ácidos tropicales de carga variable, las soluciones tamponadas como el acetato de amonio (pH=7,0), son las que más sobreestiman la CIC.

El siguiente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de algunas características del suelo sobre la adsorción de cationes intercambiables en suelos de la zona cafetera de Colombia.

### MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo entre mayo y diciembre de 2008 en los laboratorios de la Disciplina de Suelos del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, ubicado en el municipio de Manizales (Caldas), a 5°0' de latitud Norte, 75°36' longitud Oeste y una altitud de 1.310 m, con temperatura media de 21,7°C y precipitación anual de 3.000 mm.

Con base en la información disponible en la Disciplina de Suelos de Cenicafé, se seleccionaron 14 unidades cartográficas de suelos, caracterizadas por su diversidad en origen, mineralogía y la cobertura en el área sembrada con café (Tabla 1). En cada unidad de suelo se seleccionó un lote de café a plena exposición solar, en donde se ubicaron cinco puntos de muestreo en un área aproximada de 100 m<sup>2</sup>. En cada punto se recolectó 1,0 kg de suelo a 25 cm de profundidad del horizonte A, con el fin de conformar una muestra compuesta. Cuando el espesor del horizonte A era inferior al valor en referencia, se tomaron como límite la profundidad de este horizonte.

Los suelos se secaron al aire durante 10 días, tiempo después del cual se homogeneizaron, se pasaron por tamiz de 2 mm y se realizó la siguiente caracterización de sus propiedades químicas en los laboratorios de Cenicafé, de acuerdo con las metodologías descritas por Carrillo

**Tabla 1.** Ubicación e información general de las unidades cartográficas del suelo.

No.	Departamento	Municipio	Unidad de suelo	Material parental	Taxonomía*
1	Tolima	Líbano	Líbano	Cenizas volcánicas	Melanudands
2	Risaralda	Pereira	Chinchiná	Cenizas volcánicas	Melanudands
3	Caldas	Chinchiná	Chinchiná	Cenizas volcánicas	Fulvudands
4	Antioquia	Venecia	Chinchiná	Cenizas volcánicas	Melanudands
5	Cauca	Timbío	Timbío	Cenizas volcánicas	Melanudands
6	Tolima	Marquetalia	Fresno	Cenizas volcánicas	Fulvudands
7	Quindío	Quimbaya	Quindío	Cenizas volcánicas	Hapludands
8	Tolima	Ibagué	San Simón	Granito biotítico	Dystrudepts
9	Santander	Floridablanca	Paujil	Gneiss biotítico	Dystrudepts
10	Valle del Cauca	Jamundí	Doscientos	Basalto	Dystrudepts
11	Valle del Cauca	Sevilla	Doscientos	Basalto	Eutrodepts
12	Antioquia	Fredonia	Suroeste	Aglomerados	Dystrudepts
13	Antioquia	Fredonia	Salgar	Pizarra	Dystrudepts
14	Huila	Gigante	Guadalupe	Arenisca	Dystrudepts

\* A nivel de gran grupo según USDA.

(6): pH (método potenciométrico–relación suelo:agua desionizada 1:1 p/p), carbono orgánico (Walkley–Black), N (método Semimicro Kjeldahl), CIC (Ac. de amonio 1,0 M, pH=7,0), P (extracción con Bray II), Ca, Mg, K y Na (extracción con Ac. de amonio 1M a pH 7,0), Al (extracción con KCl 1,0 M) y S (método turbimétrico, extracción con fosfato monocálcico 0,008 M). La distribución del tamaño de partículas se realizó por el método de Bouyucos y se analizó la mineralogía de los suelos por difracción de rayos X en el respectivo laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Se utilizaron diferentes modelos de regresión para evaluar las relaciones entre las variables evaluadas, determinando la significancia de cada parámetro de la ecuación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentó una alta variación tanto en las propiedades físicas y químicas (Tabla 2) como mineralógicas evaluadas (Tabla 3), comportamiento que dio cumplimiento al propósito de seleccionar unidades cartográficas contrastantes. En general, los suelos derivados de cenizas volcánicas, como era de esperarse, exhibieron mayores contenidos de carbono orgánico (CO) y N total, mientras que sus niveles de P, Fe y Mn fueron los más bajos; siendo la unidad Chinchiná, en el municipio de Chinchiná, la excepción para el P. Una acumulación más alta de CO en los suelos con influencia de cenizas, se relaciona con su mayor resistencia a la mineralización; esto en respuesta a la presencia de la alófana como mineral predominante (13, 27). Lo anterior, como se discutirá más adelante, tiene implicaciones sobre la CIC, propiedad que ejerce influencia directa en la dinámica de los cationes en el suelo.

En cuanto a los cationes intercambiables se refiere, se presentó el siguiente orden en todas las unidades analizadas, sin que hubiera una tendencia que permitiera relacionar su contenido con respecto al origen de los suelos:  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$ . El orden registrado sigue la serie liotrópica que indica la preferencia general de los suelos (4, 25).

Henao (14), quien trabajó con diversos suelos de la zona cafetera de Colombia, también reporta al  $Ca^{2+}$  como catión predominante en la zona objeto de estudio, en tanto que los contenidos de  $Mg^{2+}$  no siempre fueron mayores que los de  $K^{+}$ ; con respecto al  $Na^{+}$ , su concentración estuvo por debajo de  $0,1 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Las unidades Timbío y Paujil se caracterizaron por su mayor contenido de cationes (mayor de  $7,0 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$ ); San Simón, Salgar, Doscientos en Sevilla (Valle del Cauca), Quindío, Líbano y Chinchiná en Pereira (Risaralda) presentaron valores intermedios (entre  $2,5$  y  $5,2 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), y las demás exhibieron contenidos inferiores a  $2,0 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$ .

En siete de los suelos el pH fue bajo para café (menor de 5,0), de acuerdo a lo sugerido por Sadeghian (23), y se encontró una relación inversa entre esta variable y los contenidos de  $Al^{3+}$  (Figura 1), cuyo valor más elevado se encontró en la unidad Suroeste ( $7,8 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). De acuerdo con un estudio realizado por Sadeghian (22) en 27 localidades de la zona cafetera del país, la concentración de  $Al^{3+}$  se reduce conforme al aumento del pH hasta llegar a niveles inferiores a  $1,0 \text{ cmol}_{c} \cdot \text{kg}^{-1}$  para valores superiores a 5,0. Havlin *et al.* (11) y Zapata (26) reportan un comportamiento similar; estos autores aseguran que para valores de pH superiores a 5,0–5,5 se corrigen los problemas de la acidez ocasionados por el  $Al^{3+}$ . Pese a lo expuesto, el estudio desarrollado por Ortiz *et al.* (20) sugiere

**Tabla 2.** Propiedades químicas y físicas de los suelos utilizados en el estudio.

No.	Unidad de suelo- Procedencia	pH	—(%)—			(mg.kg <sup>-1</sup> )			(cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )					—(%)—			Textura
			CO	N	P	S	Ca	Mg	K	Na	Al	CIC	CICE	Ar	L	A	
1	Libano	5,1	10,4	0,62	11	7,6	2,0	0,59	0,20	0,03	1,2	32	4,02	26	30	43	F
2	Chinchiná-Pereira	5,0	6,6	0,45	9	8,8	1,9	0,41	0,26	0,03	1,2	28	3,80	20	28	51	F
3	Chinchiná-Chinchiná	4,8	7,3	0,48	117	21,6	0,6	0,25	0,15	0,09	1,6	25	2,69	36	33	31	FAr
4	Chinchiná-Venecia	4,7	10,2	0,62	8	13,7	0,5	0,21	0,18	0,01	2,8	40	3,70	22	33	45	F
5	Timbío	5,5	13,2	0,72	4	6,2	6,4	2,17	0,64	0,08	0,5	36	9,79	16	21	63	FA
6	Fresno	5,5	10,7	0,64	4	1,7	0,6	0,14	0,13	0,05	0,7	30	1,62	18	30	52	F
7	Quindío	5,3	3,5	0,26	45	0,7	2,3	0,38	0,23	0,02	0,8	17	3,73	18	15	67	FA
8	San Simón	5,4	2,6	0,20	43	5,0	3,9	1,39	0,19	0,09	0,2	12	5,77	36	15	49	ArA
9	Paujil	5,4	4,8	0,34	38	12,5	5,3	0,93	0,92	0,03	0,4	19	7,58	52	23	25	Ar
10	Doscientos-Jamundí	4,9	8,0	0,52	2	23,5	0,2	0,16	0,10	0,01	1,2	26	1,67	42	19	39	Ar
11	Doscientos-Sevilla	4,6	2,5	0,20	36	7,7	2,4	1,62	0,47	0,10	2,8	21	7,39	44	23	33	Ar
12	Suroeste	4,4	5,9	0,41	37	9,4	0,7	0,24	0,61	0,01	7,8	30	9,36	38	15	47	ArA
13	Salgar	4,7	7,7	0,50	128	1,9	2,9	0,67	0,62	0,02	2,0	22	6,21	24	17	59	FArA
14	Guadalupe	4,7	2,6	0,21	129	4,8	0,8	0,24	0,38	0,01	1,5	11	2,93	18	30	52	F

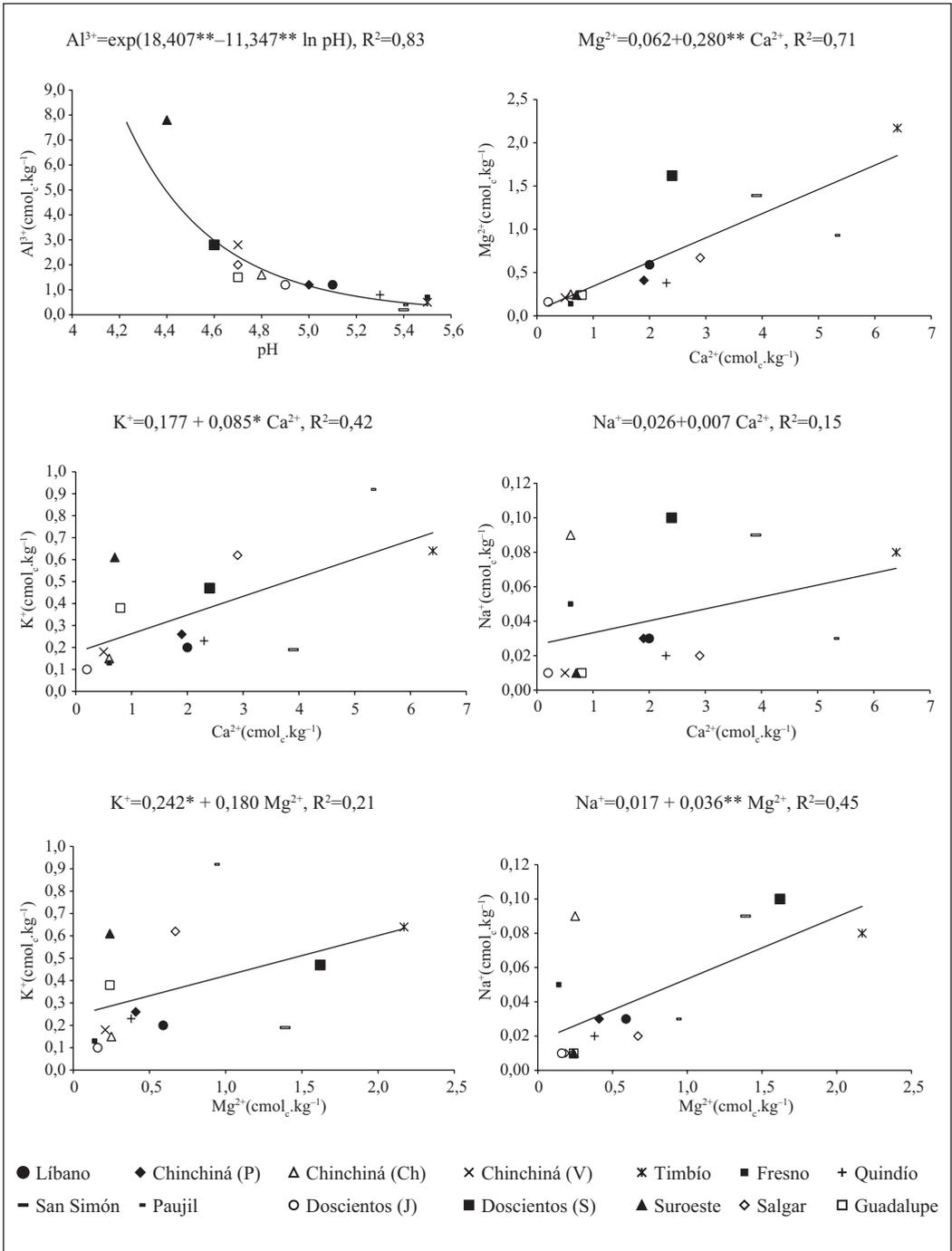
A: Arena, L: Limo, Ar: Arcilla

**Tabla 3.** Información sobre la mineralogía de las unidades de suelos utilizadas en el estudio.

No.	Unidad de suelo - Procedencia	Presencia del mineral
1	Libano	Albita 65%, Cordierita 17%, Sulfato oxotatanium 11%, Cristobalita 4%, Oxido silicato tricalcico 3%
2	Chinchiná-Pereira	Albita 76%, Cordierita 13%, Cuarzo 11%
3	Chinchiná-Chinchiná	Albita 86%, Hornblenda 13%, Cuarzo 1%
4	Chinchiná-Venecia	a-Si O2 (cuarzo) 61%, Hematina 30%, Natrita 5%, Dolomita 3%, Magnetita 1%
5	Timbío	Anortita 57%, Albita 26%, Indialita 8%, Cristobalita 7%, Óxido de sodio 2%
6	Fresno	Albita 55%, Cordierita 35%, Cuarzo 7%, Rutilo 2%, Zeolita 1%
7	Quindío	Albita 38%, Anfíbol 23%, a-Na2 17%, Aluminosilicato magnesico 11%, Cuarzo 10%
8	San Simón	Anortita 41%, Microclima 22%, Albita 21%, Hornblenda 9%, Cuarzo 6%, Cordierita 2%
9	Paujil	Cuarzo 42%, Microclima 24%, Caolinita 16%, Gipsita 9%, Metahalioisita 8%
10	Doscientos-Jamundí	Gipsita 62%, Caolinita 37%, Versiculita 1%
11	Doscientos-Sevilla	Albita 70%, Cuarzo 14%, Potasio ciclo-trifosfato 10%, a-Na2 4%, Indialita 2%
12	Suroeste	Cuarzo 27%, Magnetita 25%, Oxide silicio 25%, Cristobalita 19%, Cuarzo 4%
13	Salgar	Cuarzo 76%, Caolinita 15%, Oxido de aluminio 6%, Magnetita 2%, Anatasa 1%
14	Guadalupe	Cuarzo 80%, Ortoclasa 13%, Cloritoide 6%, Cristobalita 1%

que el método empleado para valorar el aluminio intercambiable (extracción con KCl 1M) puede sobreestimar el contenido de este elemento en los Andisoles de la zona cafetera de Colombia, dado que no hay una relación entre los valores de la fase de cambio y los de la solución del suelo. Tampoco se ha encontrado relación alguna entre la acidez total y la MO (19).

El Mg<sup>2+</sup> se incrementó conforme a los aumentos del Ca<sup>2+</sup>; sin embargo, no hubo una relación muy clara entre estos elementos y el K<sup>+</sup> o el Na<sup>+</sup> (Figura 1). El anterior comportamiento, además de sugerir una selectividad natural para el Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y Al<sup>3+</sup> en todos los suelos estudiados, indica que en general la dinámica de estos elementos está gobernada por los mismos factores, no necesariamente así para K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>.



**Figura 1.** Relación entre pH y los cationes de cambio en las unidades de suelos evaluadas. \* y \*\* indican que los parámetros son significativos a  $p < 0,05$  y  $p < 0,01$ , respectivamente.

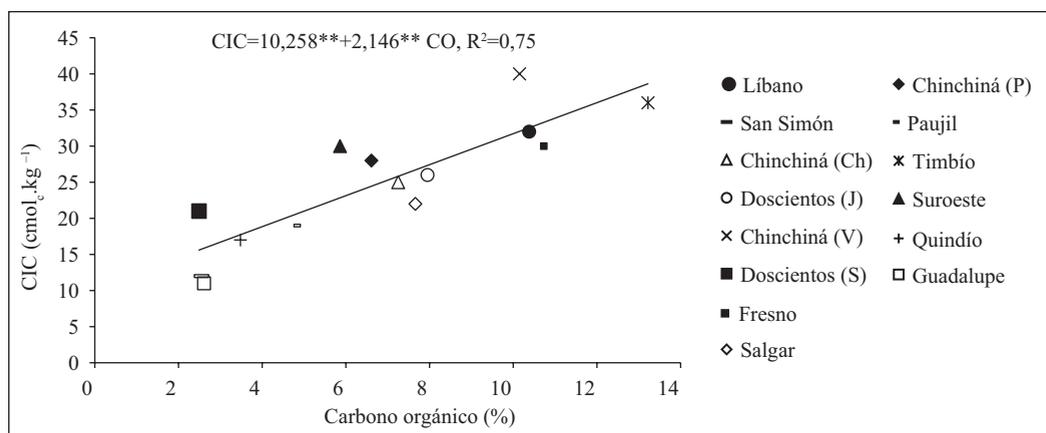
En el ámbito general, los valores más altos de la CIC, valorada por Acetato de amonio 1 M y pH=7,0, correspondieron a los suelos derivados de cenizas volcánicas, caracterizados por su alto porcentaje de CO y la presencia de alófana, y los valores más bajos a suelos cuyo origen era diferente a cenizas. La relación entre estas dos propiedades se presenta en la Figura 2, e indica una correlación estrecha de tipo lineal.

En los suelos ricos en CO, como los estudiados, hay una contribución significativa de los grupos carboxílicos a la CIC, la cual según Dahlgren *et al.* (8), representa en promedio 1 mol de carga negativa por cada 40 moles de CO. De acuerdo con la ecuación obtenida (Figura 2), por cada unidad porcentual de CO, la CIC se incrementa en 2,15  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ .

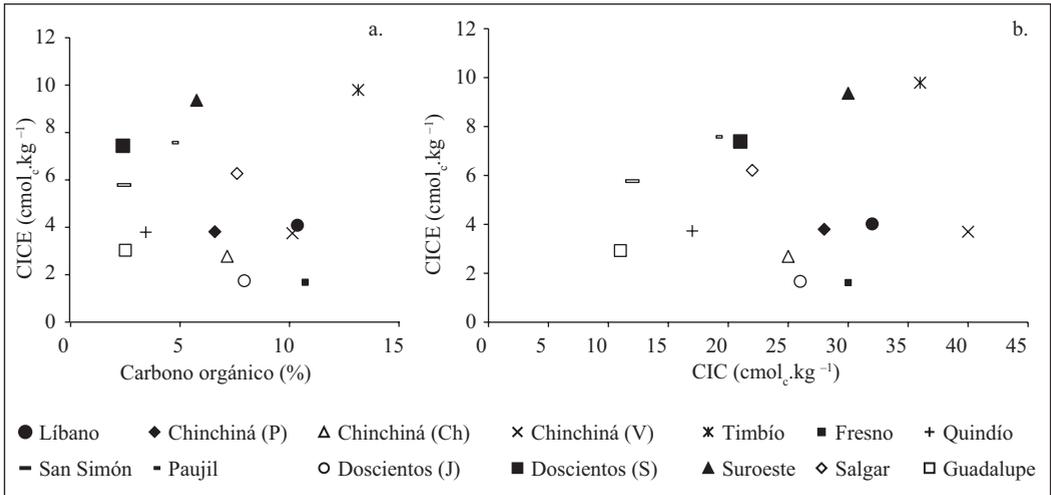
Cabe aclarar que los valores de CIC hallados no necesariamente representan las condiciones “naturales”, pues en suelos de carga variable, como los empleados en este trabajo, la metodología empleada para determinar esta propiedad (Acetato de amonio

1,0 M a pH=7,0), conduce a elevar los valores de esta propiedad, como consecuencia del aumento del pH. De acuerdo con Bohn *et al.* (4), la carga negativa del humus, y por ende su CIC, se debe a la disociación del  $\text{H}^+$  de los grupos funcionales, que depende en su totalidad fuertemente del pH, los ácidos fúlvicos y húmicos se comportan como polielectrolitos ácidos débiles. Debido a lo anterior, en suelos de carga variable la CIC efectiva (CICE) es frecuentemente menor que la teóricamente posible (determinada con Acetato de amonio a pH=7,0) (24).

Una consecuencia de lo anterior se observa en la poca o nula relación que se halló entre CO y CICE, y entre CICE y CIC (Figura 3). Henao (14) tampoco encontró relación entre estas últimas dos variables cuando las analizó en suelos de la región cafetera. Essington (9) resalta que la CIC de un suelo a menudo se refiere a la máxima carga negativa potencial del coloide a pH 7,0. Posiblemente la falta de correlación entre estas variables tenga su origen en la diversidad de los suelos en este estudio, pues en una investigación desarrollada por Ciotta *et al.* (7), en un



**Figura 2.** Variaciones de CIC con relación a los contenidos del carbono orgánico (CO) en los suelos evaluados. \*\* indica que los parámetros son significativos a  $p < 0,01$ .

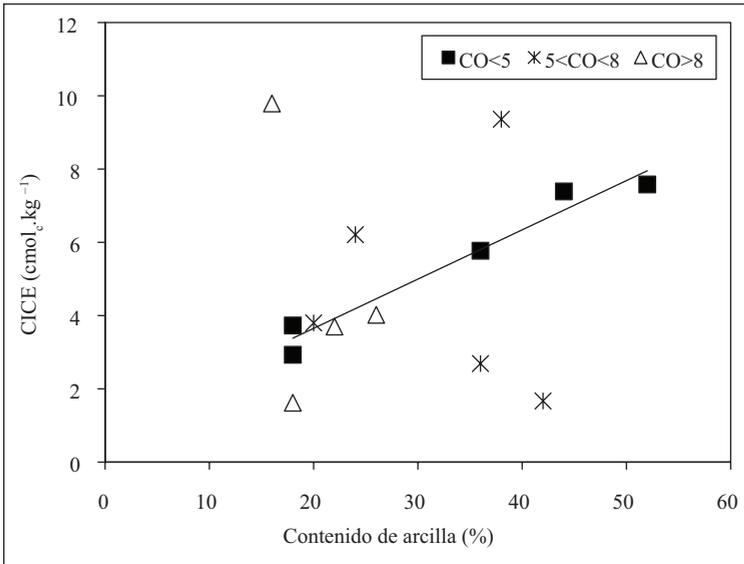


**Figura 3.** Cambios de CICE en función del carbono orgánico (a.) y CIC (b.)

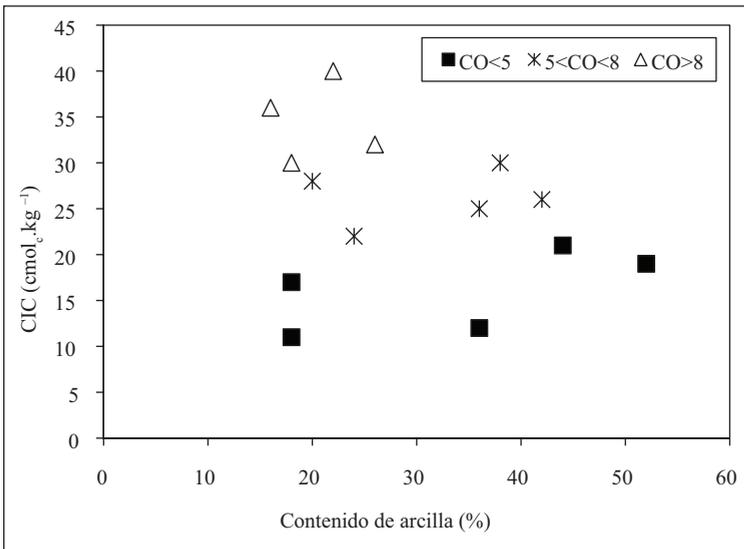
Latosol de Brasil con diferentes sistemas de uso, se encontró relación directa tanto entre CO y CIC a pH=7,0 como entre CO y CICE, siendo cerca de tres veces mayores los valores obtenidos CIC frente a CICE.

El suelo proveniente de la unidad San Simón se caracterizó por las relaciones más amplias de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  frente al  $\text{K}^{+}$ , comportamiento que tiene su origen tanto en el bajo contenido de  $\text{K}^{+}$  ( $0,19 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ), como los relativamente altos niveles de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  ( $3,90$  y  $1,39 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , respectivamente). En contraposición a lo anterior, la unidad Suroeste presentó las relaciones más estrechas entre  $\text{Ca}/\text{K}$  y  $\text{Mg}/\text{K}$ , como consecuencia de un elevado  $\text{K}^{+}$  intercambiable. La representación de la CICE con respecto a la CIC exhibió un rango amplio (entre 5,4 en la unidad Fresno y 48,1 en San Simón); sin embargo, los valores de esta variable fueron bajos para la mayoría de los suelos, de acuerdo con lo establecido por el Instituto Colombiano Agropecuario-ICA (15). En general, se puede afirmar que los suelos evaluados fueron disímiles en las relaciones objeto de estudio.

Además del pH y el contenido de CO, las propiedades que más han sido relacionadas con la capacidad para retener los cationes intercambiables son la textura y la mineralogía del suelo (11). En cuanto a la textura y el aporte de las arcillas a la capacidad de cambio, sólo se pudieron explicar las variaciones cuando los suelos se agruparon por su contenido de CO (Figura 4); en este sentido, para suelos con  $\text{CO} < 5\%$  se presentó una alta correlación lineal entre el contenido de arcillas y la CICE. En contraposición a lo anterior, no se registró relación alguna entre arcillas y CIC, aun cuando se realizó la agrupación por CO (Figura 5). De acuerdo con la información suministrada por Batjes (3), existe una relación estrecha entre el contenido de las arcillas y la CIC, siempre y cuando los contenidos de la materia orgánica no excedan el 2%. Helling *et al.* (12) midieron la contribución de la materia orgánica y de la arcilla a la CIC en 60 suelos de Wisconsin (EUA), como respuesta a los cambios del pH (2,5; 3,5; 5,0; 6,0; 7,0 y 8,0). En este estudio, el promedio de la CIC de la materia orgánica para los anteriores valores del pH (36, 73, 127, 131,



**Figura 4.** Relación entre el contenido de arcilla y la CICE ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} + \text{Al}^{3+}$ ) en los suelos evaluados. La línea continua corresponde al modelo de regresión para  $\text{CO} < 5,0$  ( $y = 0,962 + 0,135x$ ,  $R^2 = 0,96$ ).



**Figura 5.** Relación entre el contenido de arcilla y la CIC en los suelos evaluados.

163 y 213  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , respectivamente), fue mayor que la de la arcilla (38, 46, 54, 56, 60 y 64  $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , respectivamente).

En cuanto al material parental de los suelos o la composición de los minerales cristalinos se refiere, en general, no hubo

evidencias que pudieran relacionarlos de manera clara con el contenido de los cationes intercambiables. Como era de esperarse, en los suelos derivados de cenizas volcánicas la influencia de la mineralogía sobre los contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$  intercambiables fue poca, dado que el comportamiento de

éstos está gobernado básicamente por su predominancia en arcillas no cristalinas como la alófana y la imogolita, además de la influencia de otros factores de formación, principalmente la precipitación (8).

Los minerales cristalinos más frecuentes fueron cuarzo y albita; sin embargo, por ser éstos de carácter “cosmopolita” y no hacer aportes significativos de nutrientes, en principio no ejercen influencia directa en los elementos objeto de estudio. Se pudieron identificar algunas relaciones, entre ellas, la abundancia de anortita en las unidades Timbío y San Simón, y el alto contenido de  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable, pues de acuerdo con Havlin *et al.* (11), la anortita constituye una de las principales fuentes de este elemento. Minerales como anfíboles en la unidad Quindío han sido referenciados con una alta disponibilidad de  $\text{K}^+$  (14), y se espera que de alguna manera la presencia de ortoclasa en la unidad Guadalupe y de microclima en San Simón y Paujil hayan contribuido en el aporte de  $\text{K}^+$ , así mismo los contenidos de indialita en Timbío y cordierita en Líbano, Chinchiná–Pereira y Fresno hayan favorecido a los niveles de  $\text{Mg}^{2+}$ .

Los resultados presentados en esta investigación permiten concluir que:

- En los suelos evaluados se presenta el siguiente orden “natural” para retener las bases de cambio:  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ .
- El aluminio intercambiable  $-\text{Al}^{3+}$ , disminuye con el incremento del pH, hasta alcanzar valores menores a  $1,0 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  cuando el  $\text{pH} > 5,1$ .
- Existe una correlación positiva entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , más no entre estos cationes y  $\text{K}^+$  o  $\text{Na}^+$ .
- Para los suelos objeto de estudio, caracterizados por ser de carga variable, la CIC determinada mediante acetato de amonio molar y neutro, presenta una alta dependencia con respecto al contenido del carbono orgánico–CO–, más no es una medida de la capacidad real del suelo para retener los cationes de cambio.
- En suelos con  $\text{CO} < 5\%$ , la fracción arcilla puede ser un buen indicador de la retención de los cationes intercambiables; sin embargo, no se halló relación alguna entre esta variable y la CIC.
- Sólo para algunas unidades de suelos se pudo establecer cierta relación entre la mineralogía de los suelos y los contenidos de los cationes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Ing. Agr., M.Sc. Hernán González O., Beatriz Mejía M.y Luz Adriana Lince S.

## LITERATURA CITADA

1. BALLEONI, L.R.F.; MELLO, J.W.V. DE; ROCHA, W.S.D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. p. 69–129. En: VANDER DE F. M., L.R.; FERRACCIÚ, A. Química e mineralogia do solo. Vicosá : Sociedade brasileira de ciência do solo, 2009. Vol. 2.
2. BARBER, S.A. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. New York : John Wiley and Sons, 1995. 414 p.
3. BATJES N., H. A homogenized soil data file for global environmental research: A subset of FAO, ISRIC and NRCS profiles (Version 1,0). Wageningen : ISRIC, 1995.
4. BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. Soil chemistry. 3a. ed. New York : John Wiley & Sons, 2001. 307 p.
5. BORTOLUZZI, E.C.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D.S.; JULIEN, J.L. The cation exchange capacity

- of a sandy soil in southern Brazil: An estimation of permanent and pH-dependent charges. *European journal of soil science* 57:356-364. 2006.
6. CARRILLO, P. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná : Cenicafé, 1985. 111 p.
  7. CIOTTA M., N.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; ERNANI, P.R.; ALBUQUERQUE, J.A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions en solo con argila de actividade baixa sob plantio direto. *Ciencia rural* 33:1161-1164. 2003.
  8. DAHLGREN, R.; SHOJI, S.; NANZYO, M. Mineralogical characteristics of volcanic ash soils. p. 105-143. En: SHOJI, S.; NANZYO, M.; DAHLGREN, R. Volcanic ash soils genesis, properties and utilization. Amsterdam : Elsevier, 1993. 287 p.
  9. ESSINGTON, M.E. Soil and water chemistry; an integrative approach. Florida : CRC Press, 2003. 534 p.
  10. FAUZIAH, C.I.; JAMILAH, S.; OMAR, S.R. An evaluation of cation exchange capacity methods for acid tropical soils. *Pertanika journal of tropical agricultural science* 20(2/3):113-119. 1997.
  11. HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6a. ed. Nueva Jersey : Prentice Hall, 1999. 499 p.
  12. HELLING, C.S.; CHESTERS, G.; COREY, R.B. Contribution of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. *Soil science society of America journal* 28:517-520. 1964.
  13. HENAO T., M.C. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central colombiana. p. 57-77. En: SUELOS del eje cafetero. Pereira : UTP : GTZ, 2001.
  14. HENAO T., M.C. Dynamique d'éléments fertilisants dans des sols dérivés de cendres volcaniques de la zone caféière centrale de Colombie, sous culture de bananier plantain. Louvain : Université Catholique de Louvain, 2002. 239 p.
  15. ICA. Fertilización en diversos cultivos, quinta aproximación: Manual de asistencia técnica. Bogotá : ICA, 1992. 64 p.
  16. LOYOLA, E.; PAVÁN M., A. Selectividade de troca de cátions em solos ácidos. *Revista brasileira de ciência do solo* 13:131-138. 1989.
  17. MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principios de nutrición vegetal. Basel : Internacional Potash Institute, 2000. 692 p.
  18. NELSON, L. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Ottawa : INPOFOS, 1999. 66 p.
  19. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S. Propiedades de la materia orgánica y capacidad complejante sobre el aluminio en algunos suelos ándicos en Colombia. *Cenicafé* 57(1):51-57. 2006.
  20. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCO A., H.F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. *Cenicafé* 55(2):101-110. 2004.
  21. PATIÑO G., M.A.; SADEGHIAN K., S.; MONTOYA R., E.C. Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera del Valle del Cauca. Chinchiná : Cenicafé, 2007.
  22. SADEGHIAN K., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé* 54(3):242-257. 2003.
  23. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).
  24. SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. p. 275-374. En: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viosa : Sociedade brasileira de ciência do solo, 2007.
  25. SPARKS, D.L. Environmental soil chemistry. San Diego : Academic Press, 2003. 352 p.
  26. ZAPATA H., R.D. Química de la acidez del suelo. Cali : Cargraphics, 2004. 208 p.
  27. ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.; MILTNER, A.; SCHORTTH, G.; Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79(1197):117-161. 1997.

# RELACIÓN ENTRE ÍNDICES DE EL NIÑO/LA NIÑA (ENSO) Y EL BRILLO SOLAR EN LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Víctor Hugo Ramírez Builes\*: Álvaro Jaramillo Robledo\*\*

---

## RESUMEN

**RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre índices de El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera colombiana. Revista Cenicafé 63 (2): 90-97. 2012**

Las fluctuaciones de temperatura del océano Pacífico ecuatorial que generan los eventos de El Niño/La Niña - Oscilación del Sur (ENSO) se evalúan a través de índices que integran variables atmosféricas y oceánicas, entre ellos los más empleados son: el Índice Oceánico de El Niño (en inglés, ONI ) y el Índice Multivariado del ENSO (en inglés, MEI). En este trabajo se hace un análisis de correlación entre estos índices y el brillo solar medido en 15 estaciones meteorológicas de la zona cafetera de Colombia, ubicadas en diferentes latitudes. Las series históricas analizadas incluyen datos a nivel mensual, desde 1953 hasta 2010. Se observa que ambos índices (ONI y MEI) correlacionan de igual manera con el brillo solar, los niveles de correlación son significativos estadísticamente para la mayoría de las estaciones en los períodos: Diciembre a febrero y de junio a agosto, pero con diferencias entre estaciones y el número de meses. La zona de mayor correlación y mayor número de meses con correlaciones significativas está representada por las estaciones ubicadas en la cordillera Central en ambas vertientes, sin ninguna influencia de la altitud ni la latitud, y las estaciones de menor correlación y número de meses correlacionados son las ubicadas en el norte del país, en departamentos como Cesar y Norte de Santander.

**Palabras clave:** ONI, MEI, región Andina, Colombia.

---

## ABSTRACT

The Pacific sea surfaces temperature fluctuation that induces the El Niño/La Niña – Southern Oscillation (ENSO) events is evaluated by means of indices like the Oceanic Niño Index (ONI) and the Multivariate ENSO Index (MEI). This work make a correlation analysis between these indices and the sunshine measured in 15 weather stations placed in the Colombian Coffee zone from south to north of the country. The historical series analyzed include data from 1953 to 2010 on a monthly level. The results indicate that both the ONI and the MEI show similar correlation coefficients with the sunshine in the Colombian coffee zone under study, the correlation indices are statistical significant for all the stations for the periods: December to February and June to August, but with differences among stations and number of months., The higher correlation zone and the higher number of months with significant correlations coefficients are placed in the central mountain chain in both hill slopes sides, without any influence of the elevation or latitude, and the places and months with lower correlations coefficients are placed in the north of the country in the departments like Cesar and Norte de Santander.

**Keywords:** ONI, MEI, Andean Region, Colombia.

---

\* Investigador Científico II, Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

\*\* Investigador Científico III, Disciplina de Agroclimatología (Hasta Diciembre de 2012), Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Los cambios de la temperatura superficial del Océano Pacífico asociados a los eventos de El Niño/La Niña – Oscilación del Sur (ENSO), se consideran como una de las fuentes de variabilidad climática interanual que más influyen en las variables meteorológicas e hidrológicas de la zona andina Colombiana (3, 4, 8, 9, 10, 11).

Desde los primeros estudios de Walker, que indican la relación entre las temperaturas del Océano Pacífico a comienzos del siglo XX (1, 6), a la fecha se ha avanzado en entender la ocurrencia, la periodicidad, la intensidad y la predictibilidad de los eventos del ENSO, es así como en la actualidad se puede contar con modelos probabilísticos y numéricos que pueden estimar la probabilidad de ocurrencia de eventos de La Niña, El Niño y Neutro hasta con 6 meses de anticipación (*National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA*<sup>1</sup>; *The International Research Institute for Climate and Society*<sup>2</sup>; *Australian Government/Bureau of Meteorology*<sup>3</sup>).

Es importante evaluar y entender la relación entre los cambios de temperatura superficial del océano Pacífico ecuatorial y el comportamiento de las variables meteorológicas de la región Andina colombiana, avanzar en la cuantificación real de la influencia de la variabilidad climática inter-anual en la zona cafetera, a escala temporal y espacial; igualmente, se pueden ajustar las recomendaciones regionales que ayuden a mejorar la capacidad de adaptación de la caficultura a la variabilidad climática y dar utilidad práctica a nivel regional a los reportes y proyecciones de los eventos de El Niño - La Niña generados por organismos internacionales a nivel global.

En el presente estudio se analiza la influencia de los eventos de El Niño-La Niña sobre las condiciones de brillo solar en diferentes regiones de la zona cafetera de Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La información de brillo solar a nivel diario, para períodos entre 33 y 58 años continuos de datos, se obtuvo de la red climática de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, operada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, para el período 1953 a 2010<sup>4</sup>.

Se analizaron los datos de brillo solar de 15 estaciones meteorológicas localizadas en diferentes latitudes de la geografía cafetera del país desde los 10°25' latitud Norte (Pueblo Bello - Cesar), hasta los 01°-15'N latitud Norte (Ospina Pérez - Nariño) para altitudes entre 903 y 1.735 m (Tabla 1).

**Descripción de los Índices Oceánicos de El Niño-La Niña (ENSO).** Para este estudio, se correlacionó el brillo solar mensual de 15 estaciones meteorológicas de la zona cafetera colombiana (Tabla 1), con dos Índices que describen la ocurrencia de los eventos del ENSO (El Niño – La Niña) a saber: El primero de ellos es el Índice Oceánico de El Niño conocido por sus siglas en inglés como ONI (13), el cual representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del Océano Pacífico en la región conocida como El Niño 3.4, que comprende un área entre (05° S - 05° N de latitud y 170° W - 120° W de longitud). Este índice describe las

<sup>1</sup> <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>

<sup>2</sup> <http://portal.iri.columbia.edu/portal/server.pt?open=512&objID=491&mode=2&cached=true>

<sup>3</sup> <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>

<sup>4</sup> (Fuente: Archivo histórico de la Disciplina de Agroclimatología de Cenicafé).

**Tabla 1.** Localización de las estaciones meteorológicas y periodo de las series históricas de brillo solar analizadas en el estudio.

Estación (Departamento)	Cuenca	Cordillera-Vertiente	Latitud Norte		Altitud (m)	Período
			°	'		
Ospina Pérez (Nariño)	Pacífica (Río Mira)	Central-occidental	01	15	1.609	1953-2010
Jorge Villamil (Huila)	Río Magdalena	Oriental-occidental	02	20	1.420	1955-2010
Manuel Mejía (Cauca)	Río Cauca	Central-occidental	02	24	1.735	1956-2010
Manuel M. Mallarino (Valle)	Río Cauca	Occidental-oriental	04	13	1.331	1970-2010
Granja Tibacuy (Cundinamarca)	Río Magdalena	Oriental-occidental	04	22	1.538	1954-2010
Paraguaicito (Quindío)	Río Cauca	Central-occidental	04	24	1.203	1963-2010
Chapetón (Tolima)	Río Magdalena	Central-oriental	04	28	1.353	1958-2010
El Jazmín (Risaralda)	Río Cauca	Central-occidental	04	55	1.635	1964-2010
Naranjal (Caldas)	Río Cauca	Central-Occidental	04	58	1.381	1956-2010
Santa Helena (Caldas)	Río Magdalena	Central-Oriental	05	19	1.395	1981-2010
Bertha (Boyacá)	Río Magdalena	Oriental-occidental	05	53	1.677	1958-2010
El Rosario (Antioquia)	Río Cauca	Central-occidental	05	58	1.635	1969-2010
Aguasblancas (Santander)	Río Magdalena	Oriental-occidental	06	50	964	1978-2010
Francisco Romero (N.de Santander)	Río Zulia	Oriental-oriental	07	44	903	1955-2010
Pueblo Bello (Cesar)	Río Magdalena	Sierra Nevada	10	25	1.134	1957-2010

condiciones de El Niño, Neutras y La Niña de la siguiente manera: Valores medios de 3 meses consecutivos de ONI mayor a  $+0,5^{\circ}\text{C}$  indican condiciones de El Niño, valores medios de 3 meses de consecutivos ONI entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  y  $+0,5^{\circ}\text{C}$  indican condiciones Neutras y valores medios de 3 meses de ONI menor a  $-0,5^{\circ}\text{C}$  indican condiciones de La Niña (Figura 1)<sup>5</sup>.

El segundo índice empleado fue el Índice Multivariado del ENSO conocido por sus siglas en inglés como MEI (14, 15). De acuerdo con Mazzarella *et al.* (7), el MEI es una medida multivariada de las señales del ENSO en el primer componente principal de seis variables observadas en el océano Pacífico tropical: Presión a nivel del océano, componentes zonales y meridionales de viento

<sup>5</sup> La información de la base de datos del MEI fue tomado de la página web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei.ext/table.ext.html>

superficial, temperatura superficial del océano Pacífico, temperatura superficial del aire y nubosidad. Los valores normalizados por períodos bimensuales del MEI que resultan altos representan la fase cálida del ENSO (El Niño), mientras que los valores más bajos representan la fase fría del ENSO (La Niña).

**Análisis de los datos.** Se correlacionó la información de brillo solar total mensual de cada una de las estaciones y de los períodos descritos en la Tabla 1, con los índices ONI y MEI, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson y los parámetros de los modelos de regresión lineal simple entre los Índices de El Niño y el brillo solar total mensual, para cada estación meteorológica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los eventos de El Niño y La Niña dan lugar al desplazamiento de los núcleos convectivos de alta nubosidad en la región ecuatorial asociados a las celdas de circulación de Walker, estos movimientos originan cambios en una mayor o menor insolación regional.

El brillo solar en la zona cafetera colombiana es afectado por el calentamiento y enfriamiento del océano Pacífico ecuatorial, descrito por los índices ONI y MEI. La totalidad de las estaciones meteorológicas empleadas en este estudio muestran correlación positiva entre el brillo solar y los eventos de El Niño y La Niña (ENSO), indicando que en la medida que el Océano Pacífico ecuatorial se calienta o entra en fase positiva, el brillo solar aumenta en toda la zona cafetera de Colombia, ubicada entre los 01° hasta los 11° de latitud Norte; en el caso contrario, cuando el océano entra en la fase fría o negativa de La Niña, el brillo solar disminuye en toda la zona cafetera de Colombia, sin importar la altitud, la latitud o la vertiente (Tabla 2).

La consideración anterior no significa que los cambios de temperatura del océano Pacífico y su influencia en las componentes atmosféricas sean de igual magnitud y duración para toda la geografía nacional. Es así como en el caso de los 15 puntos analizados, se observa que existen zonas en donde solo un mes del año hay correlación significativa entre el ONI y el MEI con el brillo solar, como es Pueblo Bello-Cesar (10°25'N y 1.134 m de altitud), y otros puntos como por ejemplo, Paraguaicito-Quindío (04°24'N y 1.203 m de altitud), que tienen hasta 7 meses con correlación significativa entre el ONI y el MEI con el brillo solar, o en Manuel Mejía-Cauca (02°24'N y 1.735 m de altitud) con 6 meses de correlación (Tabla 2).

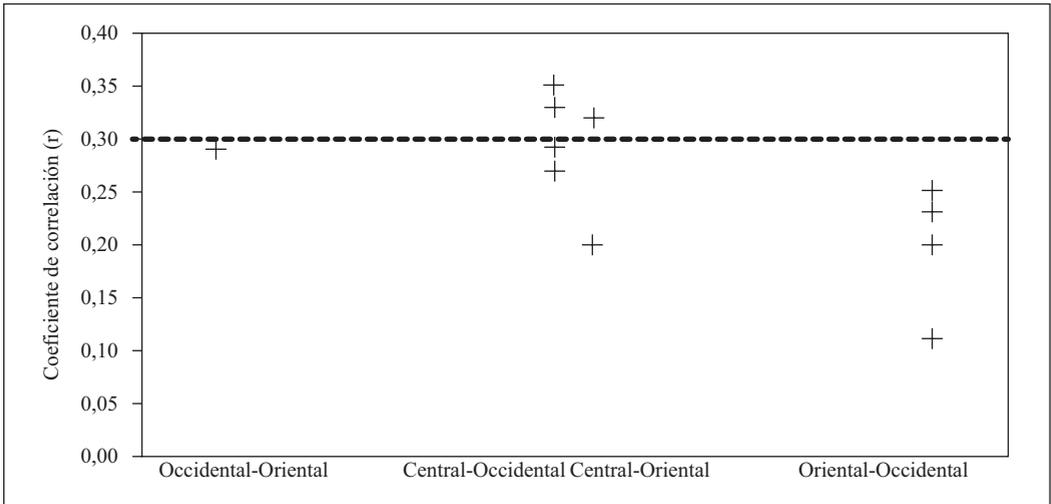
Al separar las localidades analizadas en este estudio por cordilleras y vertientes (Figura 1 y Tabla 3), se observa que la cordillera Central en ambas vertientes, sin importar la latitud ni la altitud, presenta los coeficientes de correlación más altos entre ONI-MEI y el brillo solar, y un mayor número de meses con coeficientes de correlación superior a 0,4 entre los índices y el brillo solar (Tabla 3). Lo anterior es similar a lo encontrado por Peña *et al.* (8) y Ramírez y Jaramillo (12), quienes reportan efectos diferenciales de los eventos de El Niño y La Niña sobre la precipitación en la zona cafetera colombiana, siendo la zona cafetera Centro-occidental y Sur-occidental en la que mayor influencia tienen los eventos cálidos y fríos del Pacífico sobre la hidrometeorología, y en este caso sobre la disponibilidad de energía, como lo es el brillo solar.

Por otra parte, los resultados sugieren que para la zona de estudio, los índices ONI y MEI presentan coeficientes de correlación similares con el brillo solar, lo que significa que ambos explican de

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación de Pearson entre el Índices Oceanicos de El Niño (ONI) y el Índice Multivariado del ENSO (MEDI), en diferentes localidades de la zona cafetera de Colombia.

Estación	Índice	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
Ospina Pérez-Nariño (01°15' N)	ONI	<b>0,63</b>	<b>0,47</b>	0,20	-0,12	0,06	<b>0,50</b>	0,30	<b>0,46</b>	0,29	0,39	0,27	0,35	<b>0,29</b>
	MIEI	<b>0,59</b>	<b>0,47</b>	0,24	-0,18	0,05	<b>0,417</b>	0,30	<b>0,39</b>	0,32	0,38	0,31	0,40	<b>0,26</b>
Jorge Villamil-Huila (02°20' N)	ONI	<b>0,32</b>	<b>0,32</b>	0,21	0,18	0,12	0,21	0,15	0,17	0,07	0,34	0,04	0,35	<b>0,20</b>
	MIEI	<b>0,28</b>	<b>0,30</b>	0,23	0,04	0,13	0,23	0,09	0,24	0,14	0,28	0,02	0,34	<b>0,18</b>
Manuel Mejía-Cauca (02°24' N)	ONI	<b>0,74</b>	<b>0,43</b>	0,05	0,04	0,27	0,29	<b>0,37</b>	<b>0,43</b>	<b>0,38</b>	<b>0,56</b>	<b>0,47</b>	<b>0,69</b>	<b>0,35</b>
	MIEI	<b>0,70</b>	<b>0,37</b>	0,04	-0,03	0,26	0,38	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>	<b>0,40</b>	<b>0,58</b>	<b>0,53</b>	<b>0,73</b>	<b>0,34</b>
Manuel M. Mallarino-Valle (04°13' N)	ONI	<b>0,62</b>	<b>0,48</b>	0,29	-0,18	-0,15	0,27	0,25	<b>0,48</b>	0,35	0,34	<b>0,48</b>	<b>0,53</b>	<b>0,29</b>
	MIEI	<b>0,59</b>	<b>0,46</b>	0,32	-0,24	-0,14	0,19	0,29	<b>0,43</b>	0,33	0,26	<b>0,47</b>	<b>0,52</b>	<b>0,24</b>
Granja Tiacuy-Cundinamarca (04°22' N)	ONI	<b>0,41</b>	<b>0,41</b>	0,24	-0,06	0,01	0,31	0,07	<b>0,35</b>	0,22	0,23	0,18	<b>0,44</b>	<b>0,23</b>
	MIEI	<b>0,36</b>	<b>0,40</b>	0,26	-0,17	0,09	<b>0,38</b>	0,12	<b>0,42</b>	0,33	0,19	0,14	<b>0,42</b>	<b>0,20</b>
Paraguaito-Quindío (04°24' N)	ONI	<b>0,56</b>	<b>0,44</b>	0,35	-0,16	-0,09	<b>0,41</b>	0,25	<b>0,56</b>	<b>0,46</b>	0,37	<b>0,43</b>	<b>0,55</b>	<b>0,33</b>
	MIEI	<b>0,53</b>	<b>0,43</b>	0,34	-0,23	-0,10	<b>0,33</b>	0,29	<b>0,46</b>	<b>0,43</b>	0,30	<b>0,46</b>	<b>0,55</b>	<b>0,28</b>
Chapeton-Tolima (04°28' N)	ONI	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>	<b>0,48</b>	0,11	0,03	0,18	0,08	0,21	<b>0,28</b>	0,21	0,20	<b>0,58</b>	<b>0,32</b>
	MIEI	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>	<b>0,49</b>	0,09	0,07	0,24	0,12	0,27	<b>0,30</b>	0,27	0,21	<b>0,54</b>	<b>0,31</b>
El Jazmin-Risaralda (04°55' N)	ONI	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	0,38	-0,15	-0,06	0,17	0,20	<b>0,36</b>	0,21	0,31	<b>0,39</b>	<b>0,51</b>	<b>0,29</b>
	MIEI	<b>0,57</b>	<b>0,44</b>	0,37	-0,14	-0,04	0,18	0,32	<b>0,39</b>	0,23	0,28	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>	<b>0,26</b>
Naranja-Caldas (04°58' N)	ONI	<b>0,60</b>	<b>0,53</b>	<b>0,41</b>	-0,06	-0,11	<b>0,38</b>	<b>0,33</b>	<b>0,43</b>	0,16	0,33	0,31	<b>0,51</b>	<b>0,29</b>
	MIEI	<b>0,56</b>	<b>0,53</b>	<b>0,37</b>	-0,09	-0,10	<b>0,31</b>	<b>0,37</b>	<b>0,46</b>	0,25	0,29	0,33	<b>0,48</b>	<b>0,26</b>
Santa Helena-Caldas (05°19' N)	ONI	<b>0,44</b>	0,32	0,23	-0,07	-0,15	0,28	0,19	<b>0,52</b>	0,35	0,16	0,35	<b>0,39</b>	<b>0,20</b>
	MIEI	<b>0,40</b>	0,31	0,25	-0,04	-0,13	0,20	0,21	<b>0,41</b>	0,26	0,09	0,36	<b>0,43</b>	<b>0,15</b>
Bertha-Boyacá (05°53' N)	ONI	<b>0,54</b>	<b>0,44</b>	<b>0,36</b>	0,10	-0,08	0,32	0,26	<b>0,36</b>	0,19	0,24	0,17	<b>0,53</b>	<b>0,25</b>
	MIEI	<b>0,52</b>	<b>0,44</b>	<b>0,35</b>	0,05	-0,05	0,26	0,23	<b>0,36</b>	0,16	0,16	0,15	<b>0,47</b>	<b>0,21</b>
El Rosario-Antioquia (05°58' N)	ONI	<b>0,55</b>	<b>0,50</b>	<b>0,45</b>	-0,29	-0,20	0,14	<b>0,35</b>	<b>0,49</b>	0,29	0,26	0,37	<b>0,50</b>	<b>0,27</b>
	MIEI	<b>0,54</b>	<b>0,50</b>	<b>0,43</b>	-0,31	-0,15	0,08	<b>0,40</b>	<b>0,37</b>	0,30	0,24	0,34	<b>0,48</b>	<b>0,24</b>
Aguasblancas-Santander (06°50' N)	ONI	0,15	-0,01	-0,05	-0,29	-0,22	0,16	0,09	<b>0,55</b>	0,22	0,23	0,18	0,23	<b>0,11</b>
	MIEI	0,13	-0,04	-0,05	-0,32	-0,21	0,10	0,27	<b>0,50</b>	0,17	0,10	0,16	0,19	<b>0,06</b>
F. Romero-N. de Santander (07°44' N)	ONI	<b>0,60</b>	<b>0,48</b>	<b>0,51</b>	0,13	-0,12	0,31	0,03	<b>0,30</b>	0,20	0,01	0,29	<b>0,48</b>	<b>0,25</b>
	MIEI	<b>0,54</b>	<b>0,44</b>	<b>0,48</b>	0,15	-0,03	0,30	0,16	<b>0,30</b>	0,22	-0,09	0,25	<b>0,44</b>	<b>0,22</b>
Pueblo Bello-Cesar (10°25' N)	ONI	0,11	-0,04	0,29	-0,24	-0,12	0,21	0,19	<b>0,37</b>	0,16	0,29	<b>0,38</b>	0,30	<b>0,10</b>
	MIEI	0,02	-0,10	0,25	-0,28	-0,04	0,18	0,32	<b>0,37</b>	0,17	0,31	<b>0,42</b>	0,29	<b>0,09</b>

Valores en negrilla, indican que los coeficientes de correlación tienen valores de  $p < 0,05$ .



**Figura 1.** Coeficientes de correlación promedio anuales entre el ONI y el brillo solar por cordilleras en la zona cafetera de Colombia.

igual manera la relación entre El Niño/La Niña (ENSO) y el brillo solar en la zona cafetera de Colombia (Tabla 3).

Los mayores coeficientes de correlación entre los índices ONI y MEI y el brillo solar se presentan en los meses históricamente secos en toda la zona cafetera de Colombia, que son de enero a marzo y de julio a septiembre (Tabla 2), este mismo resultado se había reportado previamente por Ramírez y Jaramillo (11) al correlacionar el ONI con la lluvia en la zona central cafetera, pero con correlación negativa entre ONI y lluvia, y es atribuible específicamente al efecto del movimiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que genera las lluvias en los meses de abril-junio y octubre-diciembre (5), la ZCIT se origina por el encuentro de los vientos Alisios del Noreste y del Sureste y se desplaza hacia el Norte o hacia el Sur según la época del año y la ubicación del sol, el eje de esta franja coincide con el “Ecuador Climático” (2), descrito en 1954 por Hans Trojer.

De acuerdo con Ramírez *et al.* (12), en la franja del “Ecuador Climático” se ubican las localidades donde se presenta la mayor reducción de brillo solar en años La Niña respecto a El Niño y es la zona de mayor riesgo agroclimático frente a los eventos de La Niña, debido a que la disminución del brillo solar ocurre en los dos trimestres de máximo brillo solar que son diciembre-febrero y julio-septiembre, y de acuerdo con este estudio son las que presentan las correlaciones más altas, a saber: Ospina Pérez-Nariño (01°15’N), Manuel Mejía-Cauca (02°24’), Manuel Mallarino-Valle (04°13’N), Granja Tibacuy-Cundinamarca (04°22’N), Paraguaicito-Quindío (04°24’N), El Jazmín-Risaralda (04°55’N), Naranjal-Caldas (04°58’N), Santa Helena-Caldas (05°19’N), Bertha-Boyacá (05°53’N), El Rosario-Antioquia (05°58’N) y Francisco Romero-Norte de Santander (07°44’N).

Ramírez *et al.* (12), en el Avance Técnico de Cenicafé No. 421, incluyen un análisis del comportamiento histórico del brillo solar en la zona de estudio en escenarios de El

**Tabla 3.** Número de meses con coeficientes de correlación (r) entre el ONI y el brillo solar superior a 0,4 para la zona de estudio.

Estación	Latitud Norte		Cordillera-Vertiente	Altitud (m)	N° de meses con r mayor de 0,4
	°	'			
El Jazmín	04	55	Central-occidental	1.635	3
Ospina Pérez	01	15		1.609	4
Naranjal	04	58		1.381	5
El Rosario	05	58		1.365	5
Manuel Mejía	02	24		1.735	6
Paraguaicito	04	24		1.202	7
Santa Helena	04	19	Central-oriental	1.395	2
Chapetón	04	28		1.533	4
Manuel Mallarino	04	13	Occidental-oriental	1.331	5
Jorge Villamil	02	20	Oriental-occidental	1.420	0
Aguas Blancas	06	50		964	1
Bertha	05	53		1.677	3
Tibacuy	04	22		1.538	4
Fco. Romero	07	44		903	4

Niño-La Niña (ENSO), al igual que las diferencias anuales entre los años La Niña respecto a El Niño.

Se puede concluir de este estudio que el efecto de los eventos de El Niño/La Niña (ENSO) sobre el brillo solar ocurren en toda la zona cafetera colombiana y es variable en el espacio y en el tiempo.

Respecto a la variabilidad espacial, las estaciones ubicadas por encima de los 6° de la latitud Norte tienden a presentar menor número de meses con influencia sobre el brillo solar que las estaciones ubicadas entre los 6° y 1° de latitud Norte. De igual manera las estaciones ubicadas en la cordillera Central, vertiente occidental, son las que muestran la mayor influencia sobre el brillo solar con tendencia a disminuir durante La Niña y a aumentar durante El Niño.

A nivel temporal, se evidencia que el mayor impacto de los cambios de temperatura

superficial del océano Pacífico ecuatorial, se presenta sobre los meses de diciembre a febrero y junio a agosto y que no todas las zonas del país presentan igual número de meses en donde se correlaciona el brillo solar con los cambios de temperatura del océano, evidenciándose de igual manera que las estaciones de la cordillera Central presentan el mayor número de meses del año con correlaciones significativas entre los cambios en la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial y el brillo solar.

Los vientos procedentes del océano Pacífico son los Alisios del Sureste que se curvan en el Pacífico colombiano con su mayor influencia alrededor de los 5 y 6 grados Norte, éstos ingresan a la cordillera Central –Corriente de Chorro del Chocó- especialmente por la zonas más bajas de la cordillera Occidental, como son zona del Calima y Norte del cerro del Tatamá, por otra parte el ingreso de vientos cálidos y húmedos que pasan a

través de la cordillera Oriental e incrementan el vapor de agua en la cordillera Central-vertiente oriental, ambos ingresos de vapor de agua potencian el efecto del ENSO sobre la cordillera Central.

## LITERATURA CITADA

1. ALLAN, R.; LINDSEY, J.; PARKER, D. El Niño southern oscillation and climate variability. Melbourne : CSIRO, 1996. 405 p.
2. CHAVES, C.B.; JARAMILLO, R.A. Regionalización de la distribución del brillo solar en Colombia por métodos de conglomeración estadística. *Cenicafé* 48(2):120-132. 1997.
3. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 50(3):222-237. 1999.
4. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera. *Cenicafé* 48(3):141-155. 1997.
5. JARAMILLO R., A.; RAMÍREZ B., V.H.; ARCILAP, J. Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. Chinchiná : *Cenicafé*, 2011. 12 p. (Avances Técnicos No. 410)
6. KATZ, W.R. Sr Wilbert Walter and a connection between the El Niño and statistics. *Statistical sciences* 17(1):97-112. 2002.
7. MAZARRELLA, A.; GIULIACCI, A.; LIRITZIS, I. On the 60-month cycle of multivariate ENSO index. *Theoretical applied climatology* 100:23-27. 2010.
8. PEÑA Q., A.; RAMÍREZ B., V.H.; VALENCIA, A.J.; JARAMILLO R., A. La lluvia como factor de amenaza para el cultivo de café en Colombia. Chinchiná : *Cenicafé*, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 415)
9. POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A.; GIL M., M.; QUICENO, N.; MANTILLA, R.I. Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil moisture and vegetation index (NDVI) in Colombia. *Water resources research* 37:2169-2178. 2001.
10. POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A. ENSO-related variability of river discharges and soil moisture in Colombia: Biospheric aspects of the hydrologic cycle. *International geosphere biosphere program* 8:3-6. 2000.
11. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60(2):161-172. 2009.
12. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; PEÑA Q., A.; VALENCIA A., J.A. El brillo solar en la zona cafetera colombiana, durante los eventos El Niño y La Niña. Chinchiná : *Cenicafé*, 2012. 12 p. (Avances Técnicos No. 421)
13. THRENBERTH, E.K. The definition of the El Niño. *Bulletin of the american meteorological society* 78(12):2771-2777. 1997.
14. WOLTER, K.; TIMLIN, S.M. Measuring the strength of the ENSO events: How does 1997/98 rank?. *Weather* 53(9):315-324. 1998.
15. WOLTER, K.; TIMLIN, S.M. Monitoring ENSO in COADS with seasonally adjusted principal component index: Proceedings of the 17th climate diagnostics workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma climate survey, CIMMS and the School of meteorology, University of Oklahoma, p. 52-57. [En línea]. NOAA/Physical Science Division/Earth System Research Laboratory. Disponible en internet: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>. 1993.

# RIESGO AGROCLIMÁTICO PARA ZONA CAFETERA COLOMBIANA: MÉTODO PARA REGIONALIZAR LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Víctor Hugo Ramírez Builes\*; Andrés Javier Peña Quiñonez\*\*; Álvaro Jaramillo Robledo\*\*;  
Julieth Paola Giraldo Escobar\*\*\*; Heverth Eduardo Suárez Arcila\*; Nelson Duque Rincón\*\*

---

## RESUMEN

**RAMÍREZ B., V.H.; PEÑA Q., A.J.; JARAMILLO R., A.; GIRALDO E. J.P.; SUÁREZA. H.E.; DUQUE R. N. Riesgo agroclimático para zona cafetera colombiana: método para regionalizar la variabilidad climática. Cenicafé 63 (2): 98-115. 2012**

En el presente trabajo se considera el riesgo como el producto de la amenaza ocasionada por la variabilidad climática y la vulnerabilidad del sistema de producción de café de reducir la productividad por déficit y exceso hídricos. La fuente de variabilidad climática analizada en este estudio es la variabilidad anual ocasionada por los eventos de El Niño y La Niña. La vulnerabilidad se estima a partir del cálculo del Índice de Humedad del Suelo (IHS) en cafetales productivos a partir de la integración de variables edáficas, de cultivo y atmosféricas que permiten definir la relación que existe entre el comportamiento de la humedad del suelo y variables de productividad del cultivo de café. La aplicación de la metodología se realizó para el departamento del Quindío por tener una adecuada cobertura en la red meteorológica y unidades de suelos georeferenciadas. La metodología permite el análisis histórico para fines de regionalización o zonificación y el análisis dinámico para fines de toma de decisiones y ajustes a los sistemas de producción. Como producto final se entrega un sistema en ambiente web que le permite a cada usuario conocer el nivel de riesgo de su sistema de producción.

**Palabras clave:** Déficit hídrico, exceso hídrico, amenaza, vulnerabilidad.

---

## ABSTRACT

In this work the climate risk is considered as the product of the threat by the climate variability plus the vulnerability of the coffee production system that reduce the production by water excess and/or deficit. The climate variability source analyzed in this work was the annual variability generated by the El Niño and La Niña phenomena (ENSO). The vulnerability is estimated by calculation of the soil moisture index (SMI) in productive coffee crops based on the integration of soil-plant and atmosphere variables which explain better the relationship between the soil moisture changes and productivity variables. The methodology application was made in the Quindío department, due good coverage in climate and soil data. The methodology is composed of historical analysis with objectives of regionalization and dynamic analysis with objectives to support decision making related with production system and adjusting to the production systems. As a final product it is included a system based on web that allows to the end user to know the risk level of yield reduction due to deficit and/or excess of water.

**Keywords:** Climate variability, water deficit, water excess, climate threat, vulnerability, risk.

---

\* Investigador Científico II y Asistente de Investigación (Qepd), respectivamente, Disciplina de Fitotecnia, Cenicafé.

\*\* Investigador Científico II, Investigador Científico III (hasta diciembre 2012) y Auxiliar, respectivamente, Disciplina de Agroclimatología, Cenicafé.

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

La variabilidad climática hace referencia a las fluctuaciones en los valores promedio del clima a escala temporal y espacial, seguidas de eventos individuales del tiempo atmosférico. Ejemplos de variabilidad climática incluyen sequías prolongadas, inundaciones y condiciones resultantes de los eventos periódicos de El Niño y La Niña. La vulnerabilidad al cambio del clima es una función de la exposición, la sensibilidad a esas condiciones y la capacidad de adaptarse al cambio<sup>1</sup>. La variabilidad climática cambia tanto a escala temporal como espacial (10); a nivel temporal y para la Zona Cafetera Colombiana se identifican diferentes fuentes de variabilidad climática a saber: Relación valle-montaña (escala diaria), ondas intraestacionales de Madden-Julian y ondas del Este-depresiones tropicales (escala anual), Zona de Convergencia Intertropical, Corriente de Chorro del Chocó y Sistemas Convectivos de Mesoescala (escala anual), eventos de El Niño y La Niña-ENSO (escala interanual), Oscilación Decadal del Pacífico y Oscilación del Atlántico Norte (escala decadal).

Las estrategias de adaptación incluyen iniciativas y medidas para reducir la vulnerabilidad de los agroecosistemas a los cambios en el clima (1), por lo tanto, debe haber una adecuada evaluación o valoración del riesgo (amenaza x vulnerabilidad) de los sistemas de producción frente la ocurrencia de eventos climáticos asociados a la variabilidad climática o al clima cambiante, y posteriormente definir las estrategias de mitigación y adaptación. De acuerdo con Sivakumar y Stefanski (20), es necesario el desarrollo y la integración de marcos o estrategias para mitigar y adaptar la agricultura a la variabilidad climática dentro de estrategias de desarrollo sostenible, tanto a nivel nacional como regional.

Los estudios de zonificación agroecológica desempeñan un papel muy importante en la delimitación de áreas en las cuales es posible definir qué cultivos tienen mayor potencial de producción (7), afirman además los autores que en estudios de zonificación de cultivos no se deben considerar solamente las variables climáticas, sino que se deben de incluir variables edáficas y del cultivo como sistema integrado.

Según el boletín de suelos No. 73 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y La Agricultura (8), uno de los propósitos de la zonificación es la planeación de los recursos naturales, donde zonificar significa separar con similares potencialidades y limitaciones para el desarrollo y producción. La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo, bajo los cuales éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos.

Para la FAO (8), la metodología de ZAE se puede considerar como un conjunto de aplicaciones básicas, que conducen a una evaluación de la aptitud y productividad potencial de tierras, y un conjunto de aplicaciones avanzadas o periféricas, que pueden construirse sobre los resultados de los estudios de ZAE. Los resultados de las

---

<sup>1</sup> Definición tomada del Documento de la Agencia de Cooperación de los Estados Unidos titulado "Adapting to climate Variability and Change: A Guide Manual for Development Planning, 2007. 31p.

aplicaciones básicas incluyen mapas que muestran zonas agro-ecológicas y aptitud de tierras, la cantidad estimada de las áreas de cultivo potenciales, cosechas y producción. Tal información proporciona las bases para aplicaciones avanzadas tales como la evaluación de la degradación de tierras, modelos de producción ganadera, evaluación de la capacidad de sostenimiento de la población y modelos de optimización de usos de tierras, evaluaciones de riesgo, análisis de tipo de sistemas de producción, evaluación del impacto del cambio y la variabilidad climática, entre otras.

El **riesgo** se refiere a la probabilidad, la estimación y la cuantificación de la magnitud y las consecuencias de los daños ambientales, sociales, económicos o culturales y pérdidas humanas, de bienes, especies, prácticas culturales, entre otras, en un lugar o tiempo determinado, como resultado del desencadenamiento de una amenaza<sup>2</sup>.

Una **amenaza** climática se puede definir como la posibilidad, probabilidad o potencialidad que cambios o fenómenos climáticos (sequía o períodos anormalmente húmedos o lluviosos) afecten por un tiempo prolongado lugares específicos, cultivos, espacios de trabajo, sitios sagrados, etc. O como la probabilidad de afectación de un sistema ante un fenómeno extremo (2). Usualmente la amenaza está basada en la frecuencia histórica (18).

La **vulnerabilidad** de una población o un sistema frente a cambios en el clima se refiere al grado en que un sistema o asentamiento está expuesto a alguna amenaza climática

y a la capacidad que tiene para manejar los daños (riesgos), sin que los afecte; es decir, los mecanismos de adaptación frente a los cambios del clima. Esta capacidad está relacionada con la manera cómo la población o el sistema son afectados, y con el tiempo de afectación. Para saber la capacidad que éstos tienen de manejar los cambios, es necesario conocer la sensibilidad a los mismos, es decir, saber los efectos de las condiciones climáticas sobre la población o el sistema, y cómo éstos responderán a los cambios (susceptibilidad) o sea su capacidad de adaptación. De esta manera, la vulnerabilidad está intrínsecamente relacionada con la amenaza a la que está expuesta y a la sensibilidad de adaptación de quienes están expuestos (2).

El **riesgo** es la valoración de las posibles pérdidas por eventual impacto del fenómeno externo. En términos económicos, el riesgo se refiere a una disminución del ingreso debido a pérdidas que resultan de un peligro o amenaza natural o inducida por el ser humano (18).

El riesgo climático depende de la intensidad y de la frecuencia de la amenaza climática (inundaciones o sequías), pero también de la vulnerabilidad. Usar el concepto de vulnerabilidad permite diferenciar el impacto del riesgo, es así como un desastre tiene sus orígenes en el peligro o amenaza, pero también en el grado de vulnerabilidad del sector o del sistema<sup>3</sup>.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC avanzó en las aplicaciones básicas, a partir del estudio de Ecotopos

<sup>2</sup> Naciones Unidas/Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia / Universidad Nacional de Colombia. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al Cambio Climático. Material de Difusión Frente al Cambio Climático No 3.

<sup>3</sup> Centro Regional de Información Sobre Desastres, América Latina y El Caribe (CRID).

cafeteros (3), por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es el de continuar con las aplicaciones avanzadas de la zonificación, en lo relacionado con el desarrollo metodológico para el análisis y evaluación del riesgo agroclimático de la caficultura colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para el caso específico de este trabajo, se asumió como riesgo la integración de la amenaza producida por la variabilidad climática (Evento de El Niño y La Niña), y la vulnerabilidad del sistema de producción de café al exceso y déficit hídricos críticos, o sea que afectaran la productividad del cultivo.

**Estimación de la amenaza.** En esta metodología la amenaza estuvo asociada con el comportamiento cambiante del clima, el cual dependiendo de la escala temporal, pudo ser el cambio climático o la variabilidad climática. Debido a las implicaciones que tiene el clima como elemento clave en la producción de café, esta metodología se ubicó en el marco de la variabilidad climática debido a que ésta se pudo aproximar a diferentes escalas temporales, desde la diaria a la decadal, y permitió emprender acciones inmediatas y regionalizadas de adaptación y mitigación. Específicamente se tomó como una de las mayores fuentes de variabilidad climática a los eventos de El Niño y La Niña (ENSO). Climáticamente los eventos de La Niña en la zona cafetera colombiana se caracterizan por el aumento en las precipitaciones por encima del normal, disminución en el brillo solar y la temperatura, y los eventos de El Niño por la disminución en la precipitación y aumento en el brillo solar y la temperatura (4, 5, 11, 17). Otra característica adicional de esta fuente de variabilidad climática son las proyecciones futuras, basadas en la información histórica de su dinámica y magnitud, lo que hace que esta amenaza sea

detectable con anticipación y, por lo tanto, hace posible el análisis de riesgo a futuro en función de los escenarios de variabilidad climática y del desarrollo de herramientas computacionales para análisis dinámico.

**Estimación de la vulnerabilidad.** La estimación de la vulnerabilidad se realizó sobre los efectos negativos de la amenaza o sea la variabilidad climática en el sistema productivo de café, y este primer reporte se centró en evaluar el efecto que tienen los cambios de la humedad del suelo (déficit y exceso hídricos) como producto de la variabilidad climática sobre la productividad potencial del cultivo de café en Colombia.

En escenarios o eventos de La Niña la productividad se ve amenazada por aumentos en las precipitaciones que se traducen en aumento en el exceso hídrico y, por lo tanto, se incrementa el número de días en donde la humedad del suelo y la atmosférica es muy alta, con implicaciones directas sobre el cultivo de café como reducción en la fotosíntesis y, por ende, en la productividad. En este caso, se consideró en el análisis el efecto negativo que tiene el exceso hídrico sobre la floración, el cual es un indicador de productividad. En los eventos de El Niño, la reducción en la precipitación y el incremento de la temperatura y brillo solar, aumentan la demanda evaporativa de la atmósfera, reflejándose en una rápida disminución de la humedad del suelo, afectando en ciertas épocas del año el llenado de los frutos de café y disminuyendo la productividad del mismo.

La determinación del déficit y el exceso hídricos se hizo a partir de la aplicación del Índice de Humedad del Suelo -IHS (12). El IHS tuvo como punto de partida el cálculo de la humedad del suelo a nivel diario, el cual

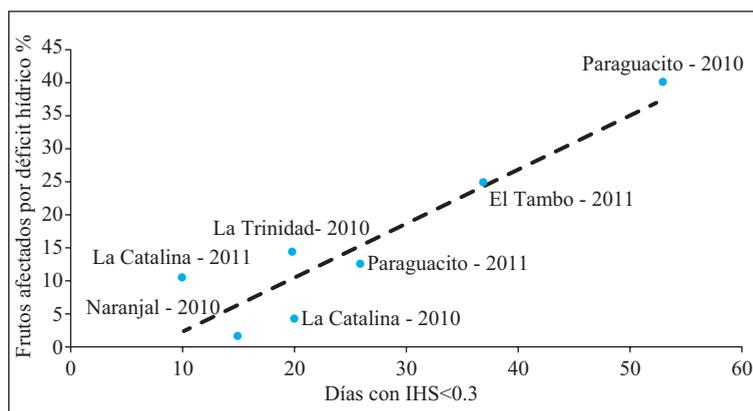
se calculó empleando la metodología propuesta por Ramírez *et al.* (14). Para el cultivo de café se identificó que el número de días con  $IHS > 0,6$ , se relaciona con la disminución en el número de botones florales (13, 16), siendo éste un indicador del efecto negativo del exceso hídrico sobre la productividad. Por otra parte, valores de  $IHS < 0,3$  son críticos por déficit hídrico, la vulnerabilidad del sistema productivo de café ante el déficit hídrico se explica sobre el efecto de la falta de agua en el llenado de frutos y reducción de la cosecha, por aumento en el número de frutos de mala calidad como frutos negros, vanos, parcialmente llenos entre otros (Figura 1), y por la reducción en la fotosíntesis del cultivo por falta de agua (15).

**Criterio para determinar el riesgo.** Los trimestres febrero-marzo-abril y agosto-septiembre-octubre son los de mayor importancia para la floración del café, y los que tienen la mayor correlación con las condiciones climáticas (13). Ellos responden por la cosecha del segundo y primer semestres, respectivamente, y por lo tanto, se consideraron los trimestres de mayor vulnerabilidad por exceso hídrico. Existe alto riesgo de disminuir el potencial productivo por exceso hídrico cuando durante el período

del 21 de enero al 30 de abril o del 21 de julio al 31 de octubre se presentan más de 20 días con  $IHS > 0,6$ .

En los bimestres enero-febrero y julio-agosto la planta de café tiene toda la carga de cosecha en diferentes estados de desarrollo, que responde por la cosecha del primero y segundo semestres, y son los meses históricamente secos en la mayoría de la Zona Cafetera Colombiana (6), y además los que mayor correlación presentan con eventos de El Niño y La Niña (11). Lo anterior permitió afirmar que son los bimestres de mayor vulnerabilidad al déficit hídrico, y se consideró que si durante los períodos comprendidos entre el 21 de diciembre y el 29 de febrero o entre el 21 de junio y el 31 de agosto se presentaron más de 15 días con  $IHS < 0,3$  había riesgo alto de disminuir el potencial productivo por déficit hídrico.

**Análisis histórico.** Se tomó la información histórica de las estaciones de la Red Meteorológica de la FNC, ubicadas en el departamento del Quindío (Tabla 1) y administradas por la Disciplina de Agroclimatología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.



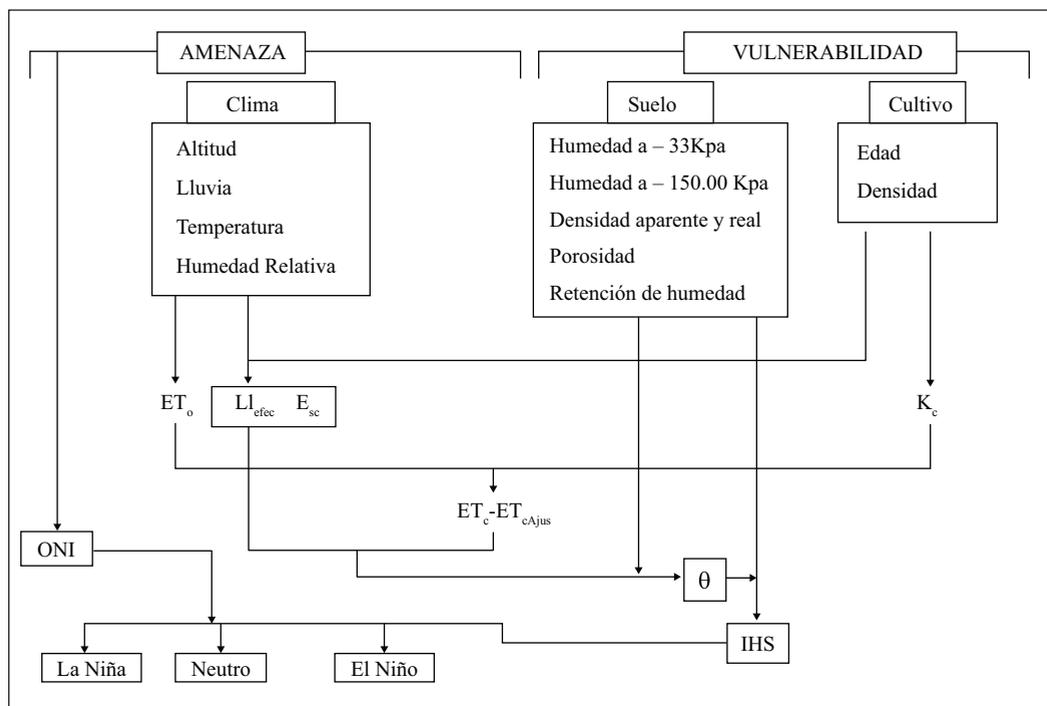
**Figura 1.** Relación entre el número de días con  $IHS < 0,3$  y el porcentaje daño en frutos de café por falta de agua. Muestreo realizado entre el 10 y el 15 marzo de 2010 y el 7 y 21 de septiembre de 2011, correspondiente a los períodos secos de enero-febrero y julio-agosto, en las Estaciones Experimentales de Cenicafé.

De la base de datos del Servicio Atmosférico y Oceánico de los Estados Unidos (NOAA<sup>4</sup>), se tomó el Índice Oceánico de El Niño (ONI por su siglas en inglés), y se seleccionaron a nivel diario los registros por condiciones del El Niño-La Niña y Neutros, como se especifica en la Figura 2, de la siguiente manera. La Niña:  $< -0,5^{\circ}\text{C}$ ; Condiciones Neutras: entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  y  $+0,5^{\circ}\text{C}$ ; El Niño:  $>+0,5^{\circ}\text{C}$ .

**Espacialización del riesgo.** La espacialización del riesgo se hizo a partir de los mapas de suelos, cada unidad de suelo tenía sus propiedades hidrofísicas diferentes, que se pueden diferenciar a nivel regional, aún bajo condiciones climáticas iguales. El criterio

empleado fue la relación existente entre la capacidad de almacenamiento del suelo y la probabilidad de alcanzar valores críticos de déficit y exceso hídrico (Figura 3), es así como los suelos que tuvieran una mayor capacidad de retención de humedad, fueron suelos que con una menor probabilidad de llegar a valores críticos de estrés hídrico (Figura 3a) pero con una mayor probabilidad de alcanzar valores críticos de exceso hídrico debido a que permanecían mayor tiempo húmedos (Figura 3b).

**Análisis dinámico.** Para el análisis dinámico se desarrolló un sistema de información web, bajo lenguaje de programación en



**Figura 2.** Representación esquemática para el cálculo del índice de humedad del suelo (IHS) como criterio para el análisis de la primera aproximación del riesgo agroclimático.

<sup>4</sup> [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

**Tabla 1.** Ubicación de las estaciones climáticas empleadas en el estudio. FNC-Cenicafé.

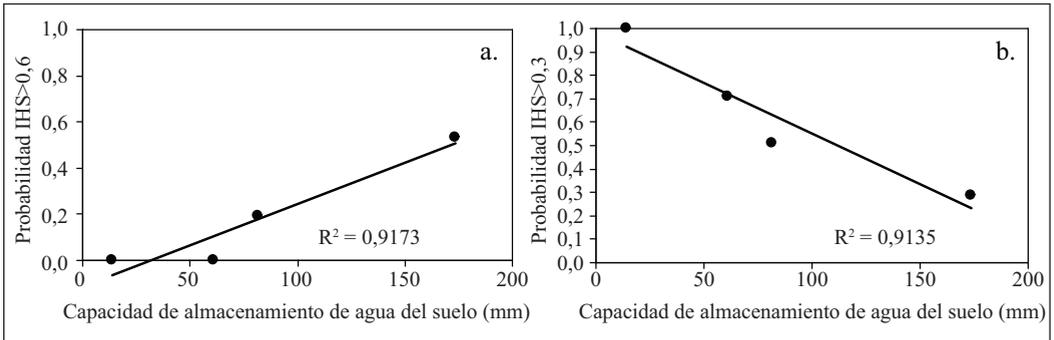
Nombre de la Estación	Municipio	Cuenca	Altitud (m)	Latitud (N)		Longitud (W)	
				Grados	Minutos	Grados	Minutos
La Pradera	Armenia	Quindío	1.350	04	28	75	43
Tucumán	Armenia	Espejo	1.200	04	32	75	46
La Esperanza	Bunavista	Quindío	1.400	04	22	75	44
Paraguaicito	Bunavista	Rioverde	1.250	04	23	75	44
El Jardín	Calarcá	Santo Domingo	1.320	04	28	75	42
La Bella	Calarcá	Quindío	1.450	04	30	75	40
Qubradanegra	Calarcá	Santo Domingo	1.500	04	27	75	40
Bremen	Circasia	Roble	2.040	04	39	75	36
La Ilusión	Circasia	Espejo	1.500	04	34	75	42
Mónaco	Córdoba	Rioverde	1.250	04	25	75	42
La Esperanza	Filandia	La Vieja	1.650	04	38	75	41
La Alejandria	Génova	Gris	1.700	04	11	75	47
La Esperanza	Génova	Gris	1.650	04	13	75	48
La Argentina	La Tebaida	La Vieja	1.200	04	27	75	47
La Miranda	La Tebaida	La Vieja	1.200	04	26	75	51
El Agrado	Montenegro	Espejo	1.250	04	31	75	47
La Julia	Montenegro	Espejo	1.250	04	33	75	45
Sorrento	Montenegro	La Vieja	1.200	04	32	75	49
El Porvenir	Pijao	Lejos	1.470	04	19	75	47
La Esperanza	Pijao	Azul	1.667	04	18	75	44
Maracay	Quimbaya	Roble	1.450	04	35	75	43
Vivero	Quimbaya	La Vieja	1.330	04	37	75	46
La Hungría	Salento	Quindío	2.014	04	39	75	36
Normandía	Salento	Quindío	1.637	04	36	75	37

java y orientado a objetos, la estructura de base de datos se desarrolló en el motor de base de datos relacionales Oracle. Este aplicativo permite a cada usuario el cálculo del IHS y genera alertas de riesgo por exceso y déficit hídrico a nivel semestral, orientado a un cultivo en etapa productiva. Esta información permite generar mapas de riesgo semestre a semestre y compararlos con los mapas históricos, este aplicativo se puede acceder a través de la plataforma agroclimática cafetera, desarrollada con el apoyo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR), en el dominio [www.agroclimacafe.org](http://www.agroclimacafe.org).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis histórico

**Comportamiento del IHS en condiciones de La Niña.** La variabilidad climática asociada a los eventos de La Niña se expresa de manera diferencial en la zona cafetera del departamento del Quindío, asociado especialmente a factores geográficos y topográficos; es así como en la zona de influencia de las estaciones meteorológicas de La Ilusión-Circasia, Maracay-Quimbaya y La Esperanza-Bunavista, presentan el mayor número de los meses en donde más



**Figura 3.** Relación entre el contenido de humedad del suelo y la probabilidad de encontrar valores críticos de déficit y exceso hídrico.

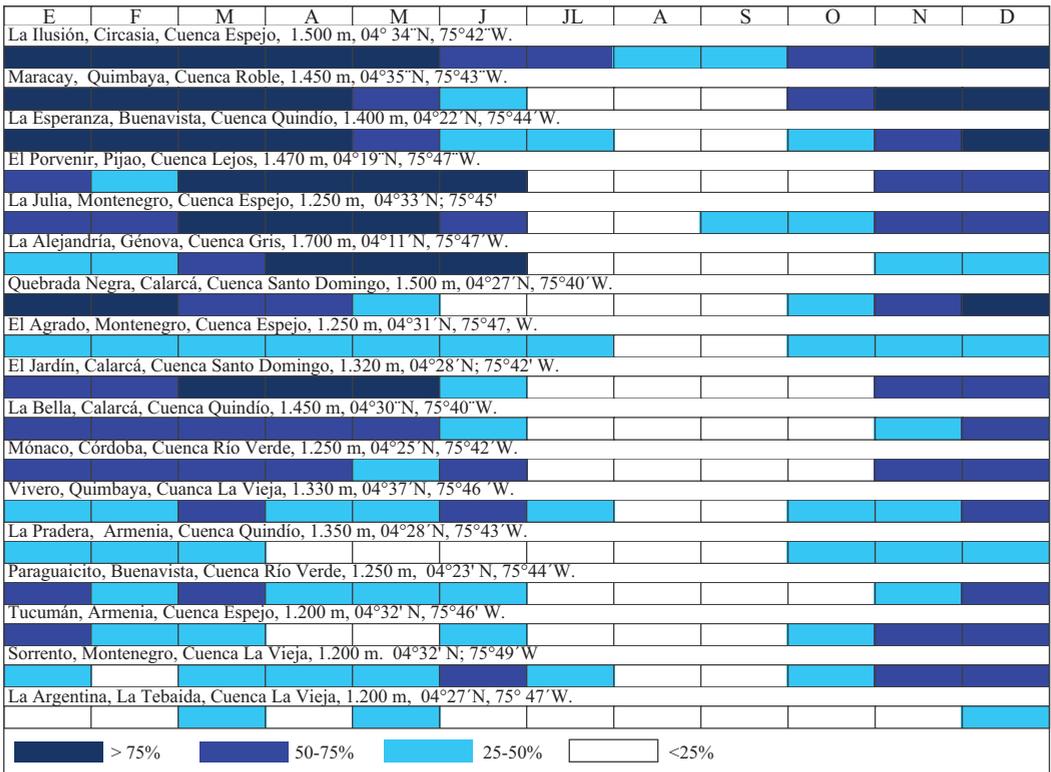
del 75% de los días del mes, en condiciones de La Niña, la humedad del suelo para cafetales productivos está por encima de valores críticos de exceso hídrico-  $IHS > 0,6$  (Figura 4); para la zona de influencia de las estaciones meteorológicas anteriormente descritas, se observa que los meses críticos por exceso son de octubre a junio, lo que significa que presentan 9 de los 12 meses del año en condiciones de exceso crítico, caso contrario a lo observado en la zona de influencia de las estaciones meteorológicas de La Argentina-La Tebaida, Sorrento-Montenegro, La Pradera-Armenia y El Vivero-Quimbaya, en las cuales ninguno de los meses en condiciones de La Niña tiene más del 75% de los días con el  $IHS > 0,6$  y en el caso específico de la Argentina presenta 9 meses del año en donde el número de días del mes con exceso hídrico crítico ( $IHS > 0,6$ ) es menor a 25% (Figura 4).

**Comportamiento del IHS en condiciones El Niño.** Bajo condiciones de El Niño, sucede lo contrario a lo descrito en condiciones de La Niña, las estaciones que presentan mayor número de días del mes y mayor número de meses con déficits hídricos críticos ( $IHS < 0,3$ ) son La Argentina-La Tebaida, Tucumán-Armenia, Paraguaicito- Buenavista, Vivero-Quimbaya

y La Bella-Calarcá (Figura 5). Además, se observa que los meses de febrero-marzo y agosto-septiembre, son los meses en donde bajo condiciones de El Niño más del 75% de los días han presentado condiciones de déficit hídrico crítico para el cultivo de café ( $IHS < 0,3$ ), para una profundidad de 50 cm.

**Riesgo al déficit y al exceso hídrico en condiciones de La Niña y El Niño.** Desde el punto de vista del potencial productivo del cultivo de café, los trimestres críticos por exceso hídrico producto del evento de La Niña son: Agosto-septiembre-octubre (A-S-O) y febrero-marzo-abril (F-M-A). Del análisis de la serie histórica se observa que para la zona cafetera del departamento del Quindío, en el trimestre F-M-A el 75,6% de su área está en riesgo potencialmente alto a que el exceso hídrico producido por el fenómeno de La Niña afecte la producción (reducción de floración), mientras que el trimestre A-S-O sólo el 9,0% de área está en riesgo potencialmente alto (Figura c).

Los bimestres más críticos por déficit hídrico para el cultivo del café desde el punto de vista productivo, producto de los eventos de El Niño son: Enero-febrero (E-F) y julio-agosto (Jl-A). Del análisis de la serie

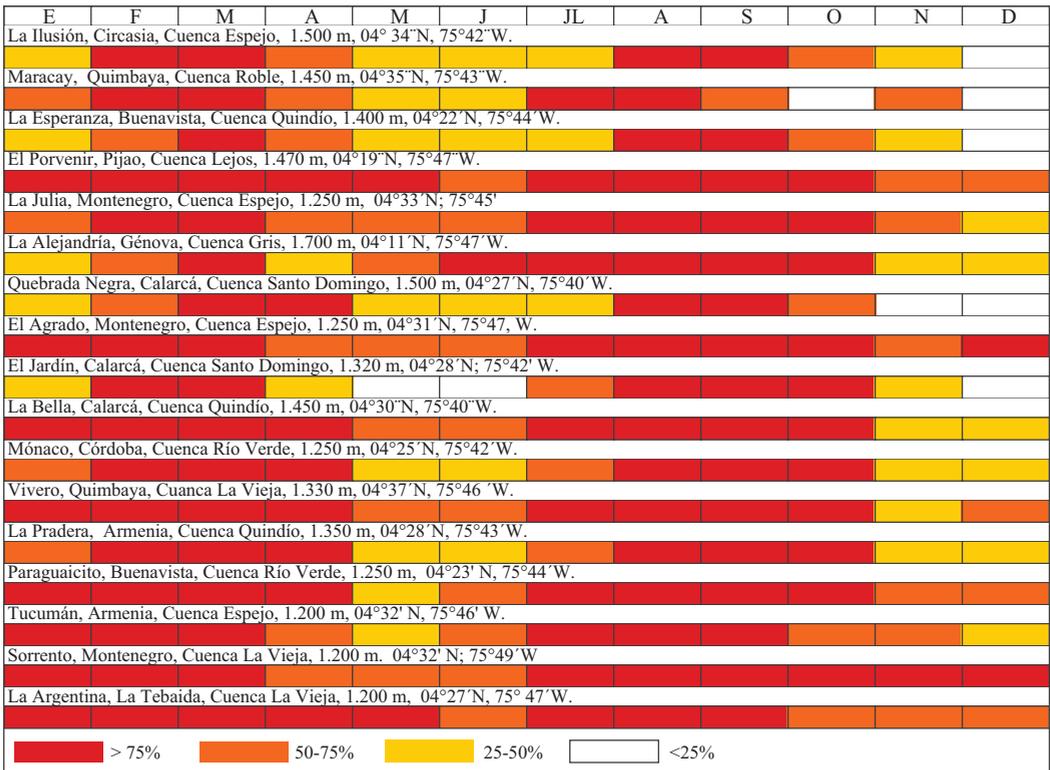


**Figura 4.** Distribución de frecuencias para condiciones críticas de humedad de suelo por exceso hídrico crítico para el cultivo de café, representada en el número de días del mes con IHS>0,6 en meses La Niña.

histórica se observa que para la zona cafetera del departamento del Quindío, ambos bimestres E-F y Jl-A presentan riesgos potencialmente altos 94,0% y 93,5%, respectivamente, de que se vea afectada parte de la cosecha por falta de agua (frutos parcialmente llenos, vanos, grano negro) como se observa en la Figura 7.

**Riesgo al déficit y al exceso hídrico en condiciones Neutras.** En condiciones Neutras, el riesgo potencial de reducción de la producción por exceso hídrico (reducción de floración), disminuye para ambos trimestres, así el 11,7% del área en el trimestre F-M-A tiene riesgo potencial de reducir la floración por exceso hídrico en condiciones neutras y

para el trimestre A-S-O es del 7,0% (Figura 8). Por el contrario y como se ha mostrado en otros trabajos sobre precipitación y condiciones ENSO (El Niño/La Niña) por Ramírez y Jaramillo (11), la condición Neutra es muy similar a la condición de El Niño, es así como para el caso de la zona cafetera del departamento del Quindío el riesgo potencial que se afecte la producción (reducción en el llenado de frutos, frutos parcialmente llenos, vanos, negros) en los bimestres E-F y Jl-A es alto con 85,1% y 96,5% del área, respectivamente (Figura 9). Lo anterior muestra además que hay algunas áreas del departamento que son vulnerables al déficit y a exceso hídrico, aún sin la presencia de la amenaza de El Niño y La Niña.



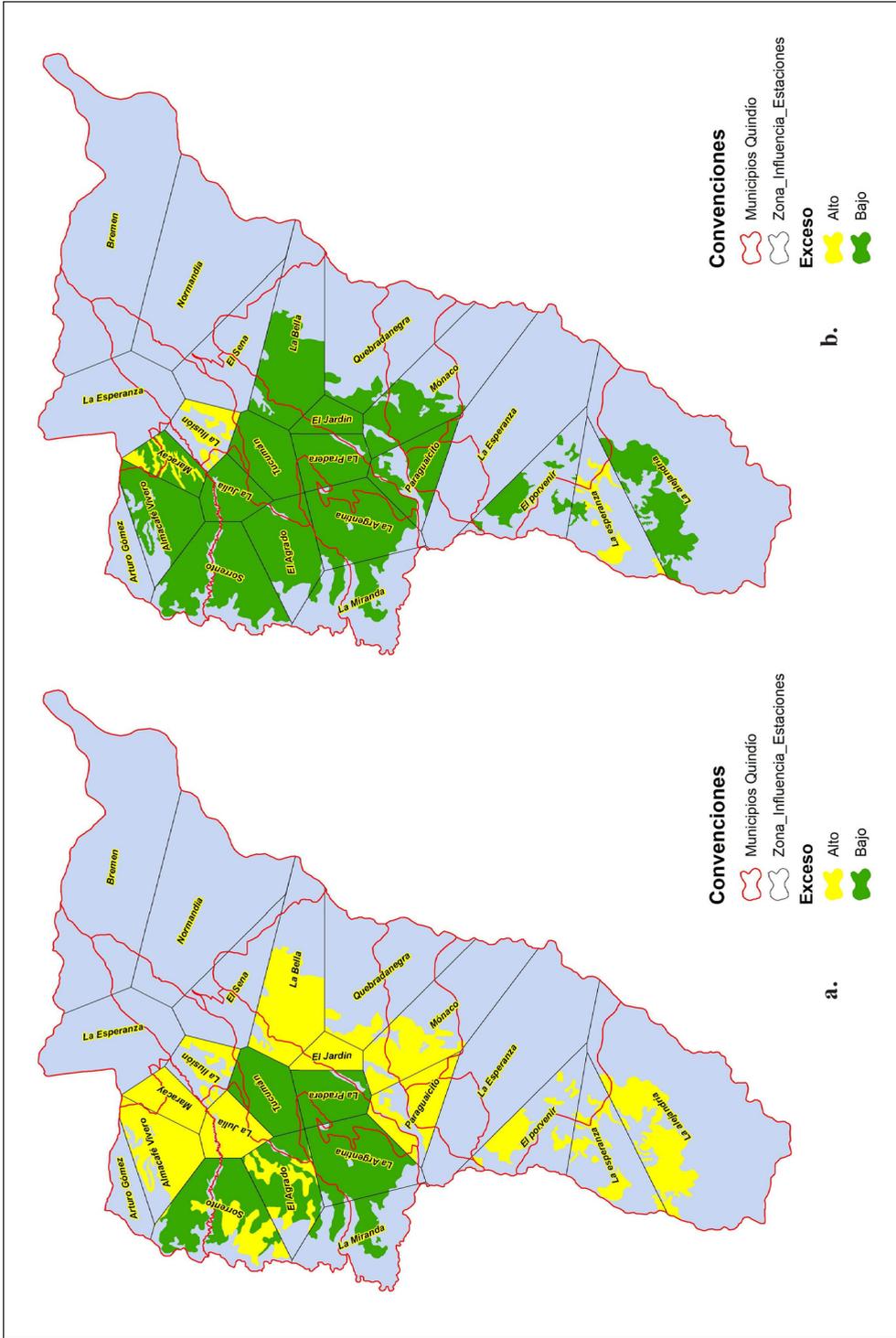
**Figura 5.** Distribución de frecuencias para condiciones críticas de humedad de suelo por déficit hídrico crítico para el cultivo de café, representada en el número de días del mes con IHS <0,3 en meses El Niño.

**Análisis dinámico**

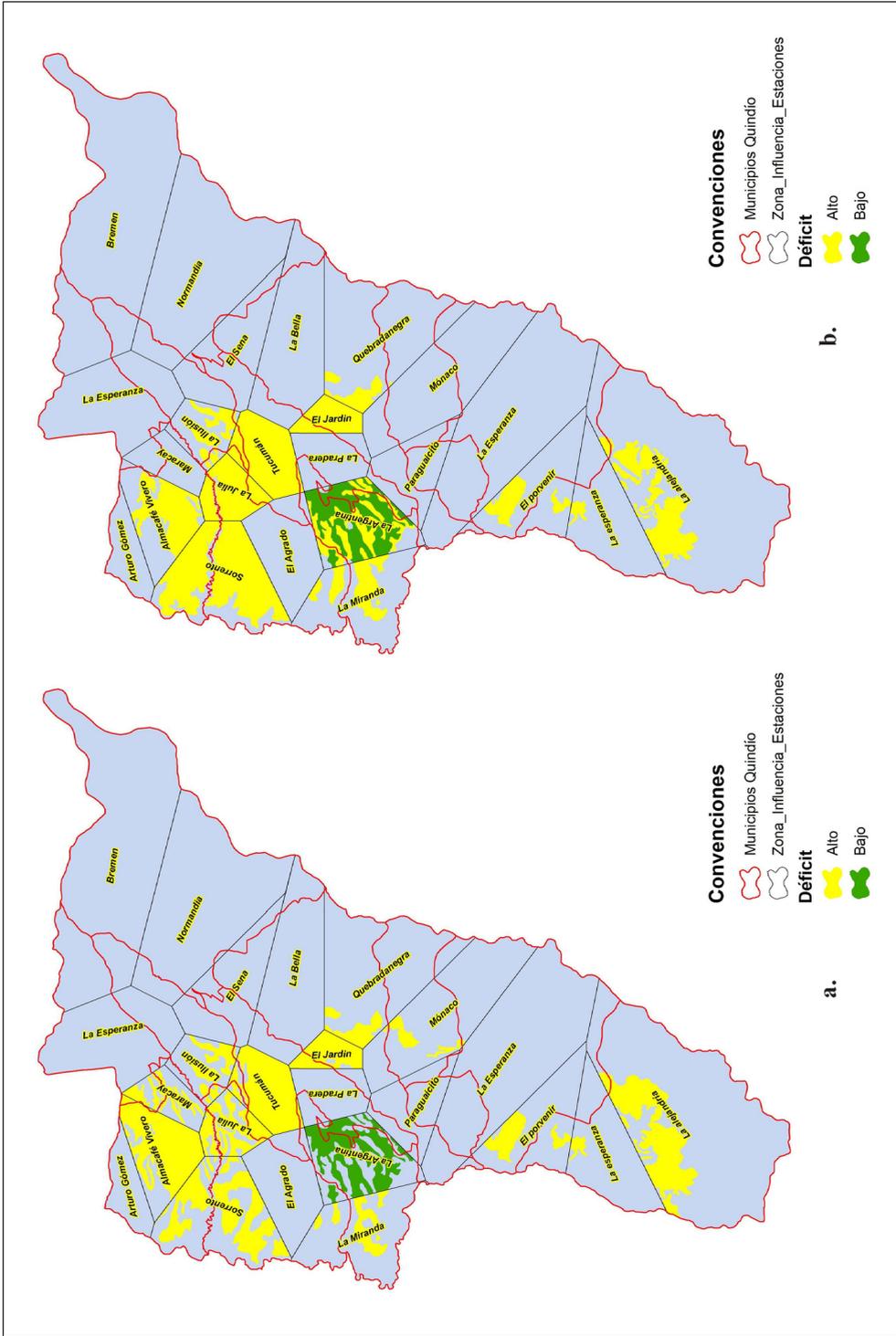
El análisis dinámico permite ver la evolución de las áreas potencialmente en riesgo en diferentes niveles o condiciones de la amenaza, es así como se analizó lo ocurrido entre enero de 2008 y junio de 2010, en donde se presentaron condiciones de La Niña y El Niño, a saber: De enero a mayo de 2008 se presentó La Niña, luego una condición Neutra hasta diciembre, posteriormente de enero a marzo de 2009 de nuevo La Niña, luego una condición Neutra de abril a julio y de julio de 2009 hasta julio de 2010 una condición de El Niño (Figura 10).

Se observa que las áreas con riesgo potencialmente alto de afectar el rendimiento

por el exceso hídrico en los eventos de La Niña de los años 2008, 2009 y 2010 es variable; es así como durante el primer semestre de 2008 el área potencialmente afectada es del 52%, y el ONI promedio para ese período es de -1,2°C, y el área con riesgo potencialmente alto para el primer semestre de 2009 y segundo semestre de 2010 disminuye al 40% de área, explicable porque el nivel de amenaza disminuye con un ONI promedio de -0,5°C y -1,1°C respectivamente (Figura 11). Tendencia similar se observa al analizar el comportamiento de las áreas potencialmente afectadas por El Niño, en donde para el segundo semestre del año 2009 el área con riesgo potencial era del 64%, con un ONI promedio de +0,7°C, y subió al

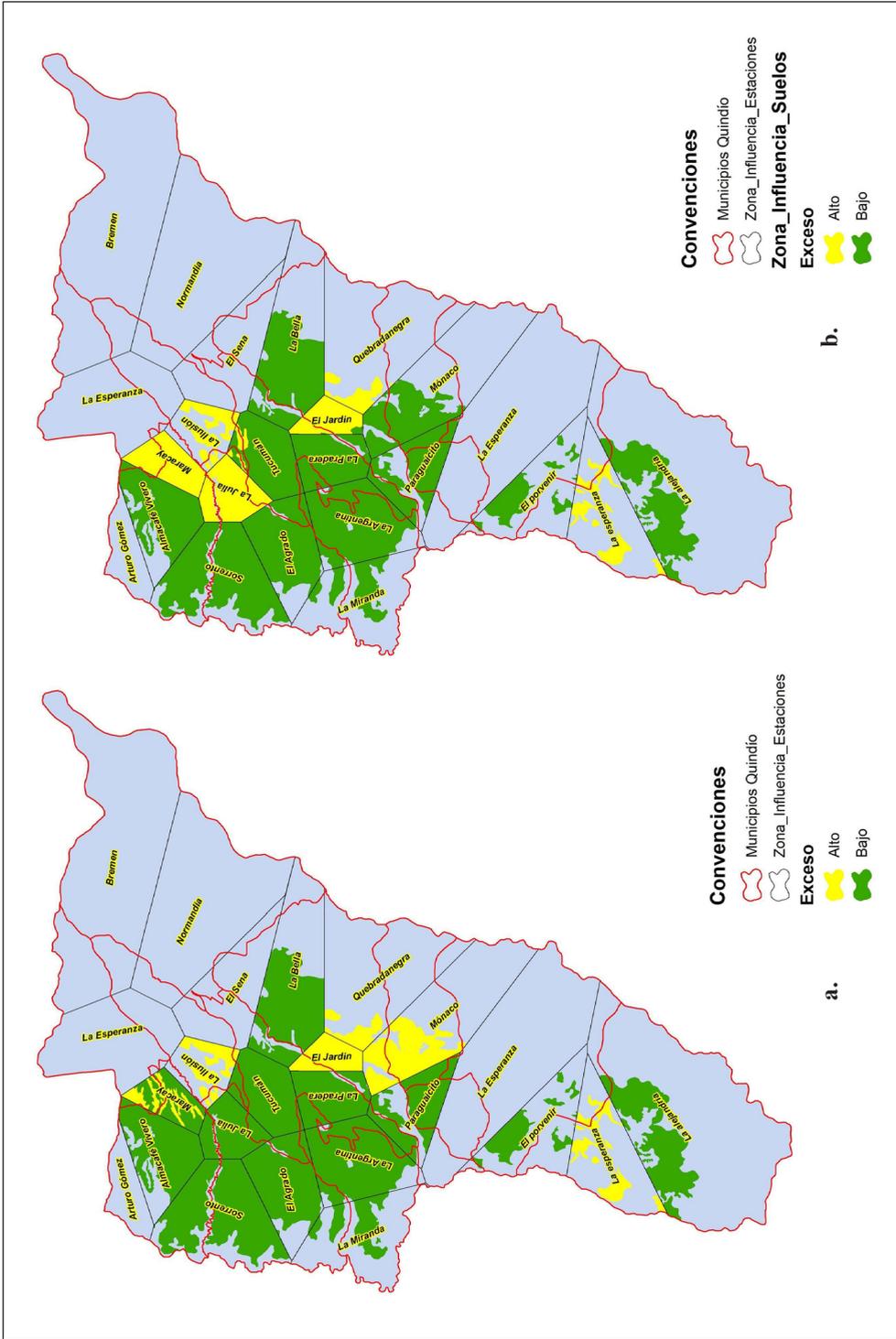


**Figura 6.** Riesgo potencial de la zona cafetera del Quindío en disminuir la floración por la ocurrencia del fenómeno de La Niña. **a.** Trimestre febrero-marzo-abril; **b.** Trimestre agosto-septiembre-octubre.

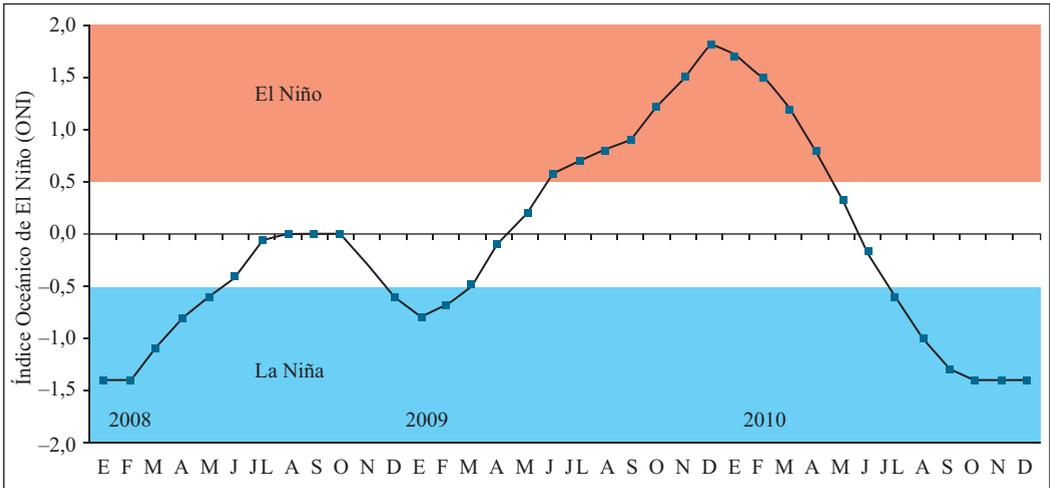


**Figura 7.** Riesgo potencial de la zona cafetera del Quindío en disminuir el llenado de frutos por la ocurrencia del fenómeno de El Niño. **a.** Bimestre enero-febrero, **b.** Bimestre julio- agosto.





**Figura 9.** Riesgo potencial de la zona cafetera del Quindío en disminuir el llenado de frutos en condiciones Neutras. **a.** Bimestre enero-febrero, **b.** Bimestre julio- agosto.



**Figura 10.** Distribución del Índice Oceánico de El Niño (ONI) para los años 2008-2009 y 2010. La franja azul indica condiciones de La Niña, y la franja roja indica condiciones de El Niño. Datos tomados del Servicio Atmosférico y Oceánico de los Estados Unidos (NOAA).

85% en el primer semestre de 2010, con un ONI de +1,7°C (Figura 12).

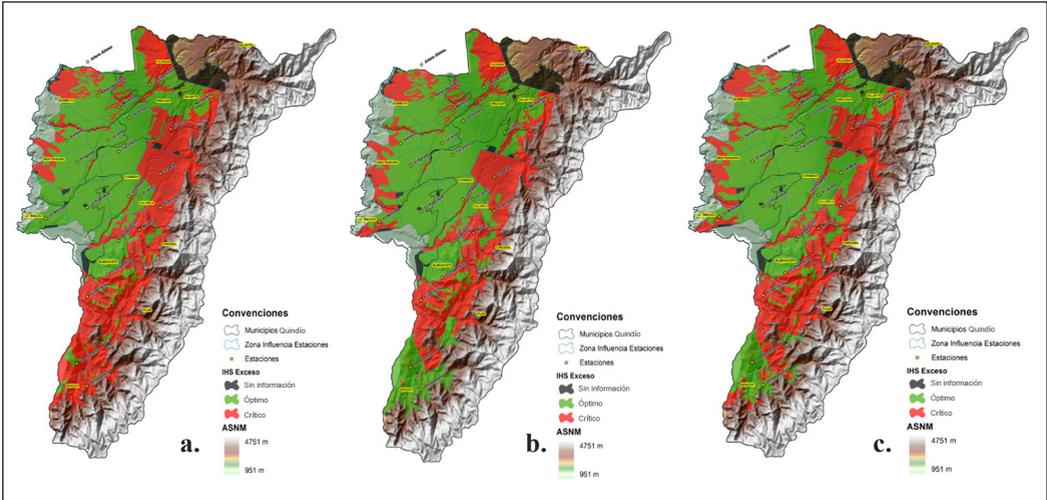
A través del sistema de información web, los usuarios pueden obtener el análisis del riesgo potencial al déficit y al exceso hídrico a nivel de vereda, finca, lote o cultivo (Figura 13), al ingresar con su código de acceso, que puede ser el código del Sistema de Información Cafetera (SIC@), el cual está georeferenciado. En este sistema, el usuario encontrará información general del lote de interés, y la opción de hacer el cálculo del balance hídrico y el análisis de riesgo por déficit y exceso (Figura 13a), el sistema le despliega los resultados del IHS para el período seleccionado (Figura 13b), le hace el análisis de riesgo por déficit y por exceso hídrico por semestre (Figura 13 c y d) al igual que el número de días en los cuales el IHS estuvo por encima o por debajo de los valores críticos para el cultivo.

De acuerdo con Singh *et al.* (19), hay dos estrategias posibles para disminuir el impacto

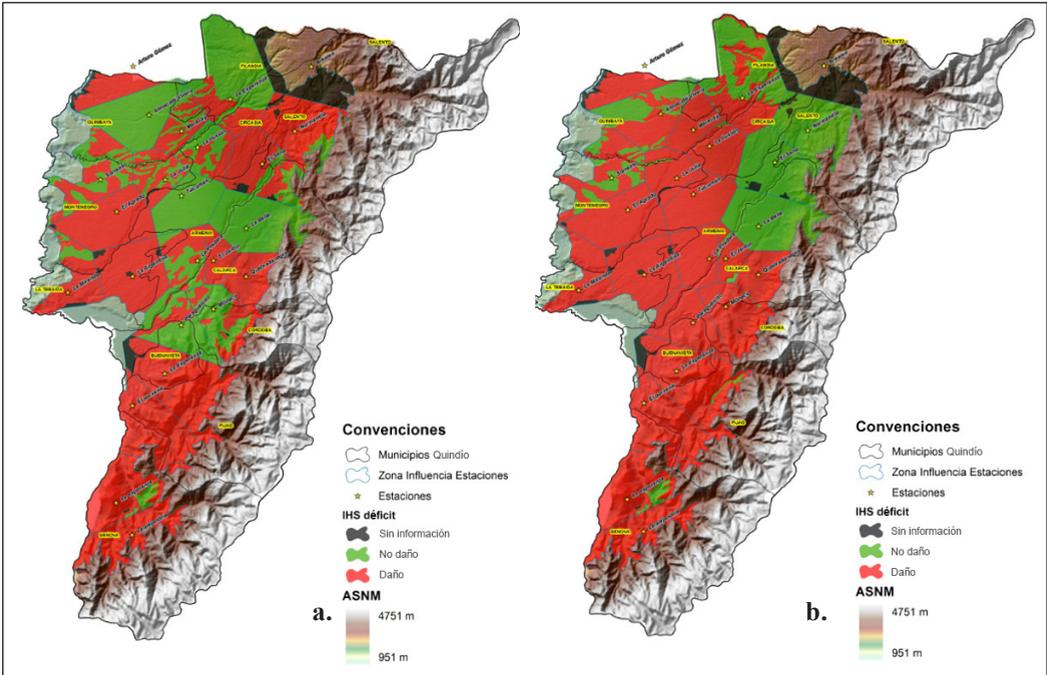
de la variabilidad climática en los sistemas de producción agrícola: i) Reducir el riesgo controlando los factores limitantes (ejemplo uso de sistemas de riego en condiciones en donde el agua sea un factor limitante), y ii) Ajustar las prácticas de manejo del sistema de producción.

Este trabajo brinda la primera aproximación que permite identificar el nivel de riesgo y hacer una primera cuantificación. Igualmente se ha avanzado en unas primeras recomendaciones en las prácticas de manejo del cultivo de café en condiciones de alto riesgo El Niño o a La Niña (9).

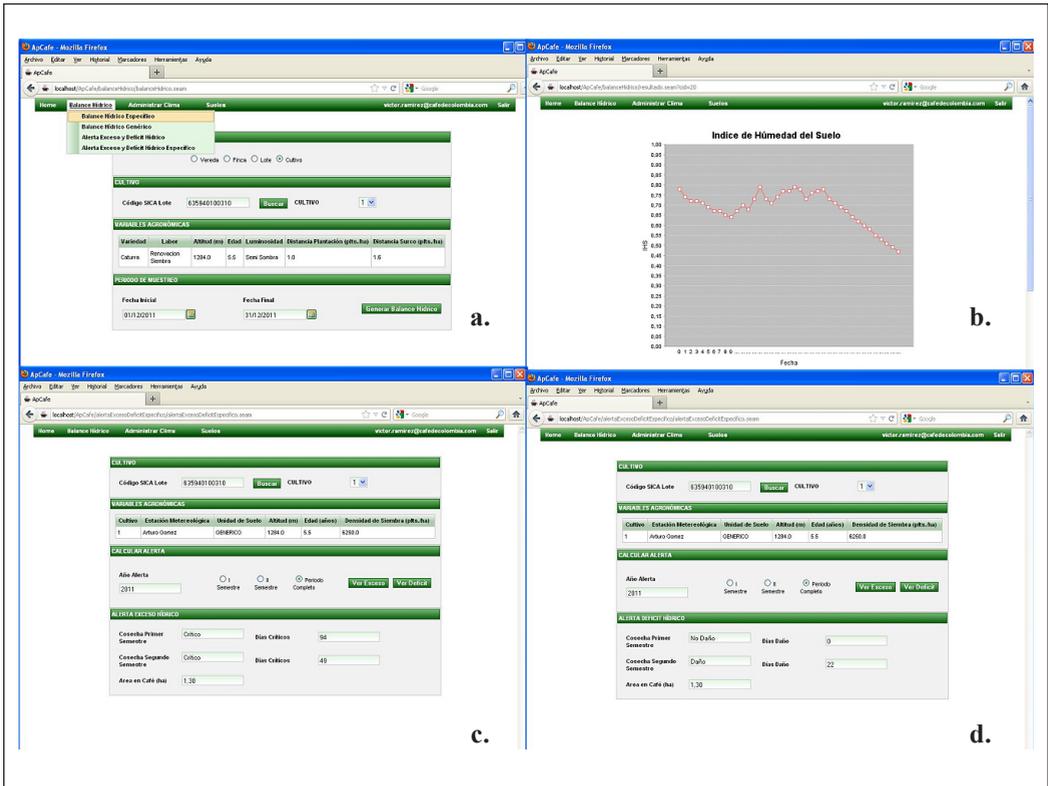
Se puede concluir que los índices hídricos aplicados para café son útiles para adelantar un análisis regional sobre el riesgo potencial de la zona cafetera a reducir la producción por efecto de la variabilidad climática interanual, ocasionada por los eventos de El Niño/La Niña, con diferentes proyecciones de escala temporal, metodología que permite el análisis histórico y avanzar en las aplicaciones de



**Figura 11.** Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el exceso hídrico durante los eventos de La Niña de 2008 a 2010. **a.** Año 2008 I semestre. **b.** Año 2009 I semestre. **c.** Año 2010 I semestre.



**Figura 12.** Áreas con riesgo potencialmente alto de verse afectado el rendimiento en el cultivo del café por el déficit hídrico durante los eventos de El Niño de 2009 a 2010. **a.** Año 2009 I semestre. **b.** Año 2010 I semestre.



**Figura 13.** Resultados que entrega el aplicativo en ambiente web. **a.** Opciones de balance hídrico y de análisis de riesgo al igual que las opciones de finca, cultivo o lote; **b.** Comportamiento del IHS para el período seleccionado; **c.** y **d.** Información de la estación meteorológica y la unidad de suelo relacionada a su área de influencia, si hay riesgo por déficit y exceso y el número de días con valores de IHS considerados críticos para el cultivo.

la zonificación agroecológica. Por otra parte, es una herramienta útil para apoyar la toma de decisiones relacionadas con el sistema de producción de café dado que va dirigida a usuarios individuales a través del análisis dinámico.

**AGRADECIMIENTOS**

Al Comité Departamental de Cafeteros del Quindío por apoyar el desarrollo de esta propuesta en el marco del proyecto piloto de agricultura de precisión para el departamento.

**LITERATURA CITADA**

1. CAMARGO, B.P.M. The impact of the climate variability and climate change on Arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69(1):239-247. 2010.
2. CHAVARRO, P.M.; GARCÍA, G.A.; GARCÍA, P.J.; PRIETO, R.A.; ULLOA, C.A. Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. Bogotá : Naciones Unidas : Ministerio de ambiente vivienda y desarrollo territorial : Universidad Nacional de Colombia. 2008. 58 p.
3. GÓMEZ, G.L.; CABALLERO, R.A.; BALDIÓN R., J.V. *Ecotopos cafeteros*. Chinchiná : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1991. 138 p.

4. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. El evento cálido del Pacífico en la zona cafetera. *Cenicafé* 48(3):141-155. 1997.
5. GUZMÁN M., O.; BALDIÓN R., J.V. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona Cafetera. *Cenicafé* 50(3):222-237. 1999.
6. JARAMILLO R., A.; RAMÍREZ B., V.H.; ARCILAP, J. Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 12 p. (Avances Técnicos No. 410).
7. JIMÉNEZ, C.A.; VARGAS, T.V.; SALINAS C., W.E.; AGUIRRE, B.M. DE J.; RODRÍGUEZ, C.D. Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones geográficas* 53:58-74. 2004.
8. FAO. Zonificación agro-ecológica: Guía general. Roma : FAO, 1997. 91 p. (Boletín de suelos No. 73)
9. PEÑA Q., A.J.; RAMÍREZ B., V.H.; VALENCIA A., J.A.; JARAMILLO R., A. La lluvia como factor de amenaza para el cultivo de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 415)
10. POVEDA, J.G. La hidroclimatología de Colombia: Una síntesis desde la escala Inter-decadal hasta la escala diurna. *Revista academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales* 28(107):201-221. 2004.
11. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60(2):161-172. 2009.
12. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Índices para evaluar el estado hídrico en los cafetales. *Cenicafé* 61(1):55-66. 2010a.
13. RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA F., 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. Floración del café en Colombia y su relación con la disponibilidad hídrica, térmica y de brillo solar. *Cenicafé* 61(2):132-158. 2010b.
14. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILAP, J.; MONTOYA R., E.C. Estimación de la humedad del suelo en cafetales a libre exposición solar. *Cenicafé* 61(3):251-259. 2010c
15. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; ARCILA P., J. Model to estimate available water for coffee crop in Colombia. California : American Society of Agronomy : Soil Science Society of America : Crop Science Society International Meeting, 2010d. 37 p.
16. RAMÍREZ B., V.H.; ARCILAP, J.; JARAMILLO R., A.; RENDÓN S., J.S.; CUESTA, G.G.; MENZA F., 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. Variabilidad climática y la floración del café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 8 p. (Avances Técnicos No. 407).
17. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A.; PEÑA Q., A.J.; VALENCIA A., J.A. El brillo solar en la zona cafetera colombiana durante los eventos El Niño y La Niña e impactos potenciales en el cultivo del café. Chinchiná : Cenicafé, 2012. 18 p. (Avances Técnicos Cenicafé. No 421. Julio de 2012.).
18. SABORIO, B.J. Metodología para la gestión de cuencas hidrográficas siguiendo el enfoque del riesgo integral: El cambio climático y la adaptación. Cartago {Costa Rica} : CATIE, 2005. 10 p.
19. SING, U.; WILKENS, P.W.; BAETHGEN, E.W.; BONTKES, T.S. Decision support tools for improved resources management and agricultural sustainability. p. 91-117. En: AHUJA, R.L.; MA, L.; HOWELL A.T. *Agricultural systems models in field research and technology transfer*. Florida: Lewis Publishers : CRC Press, 2002. 376 p.
20. SIVAKUMAR, M.V.K.; STEFANSKI, R. Climate change mitigation, adaptation and sustainability in agriculture. p.44. En: *Symposium on climate change and variability: Agrometeorological monitoring and coping strategies for agriculture*. Oscarsborg Norway : WMO, 2008.

# UN ENFOQUE MULTI-DIMENSIONAL DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA DE COLOMBIA, CON ÉNFASIS EN LA VULNERABILIDAD<sup>1</sup>

Caitlin Peterson\*, Andreea Nowak\*, Andrew Jarvis\*\*, Carolina Navarrete Frías\*\*\*, Apolinar Figueroa Casas\*\*\*\*, Néstor Miguel Riaño Herrera\*\*\*\*\*; Julio Ernesto Vargas Sánchez\*\*\*\*\*

---

## RESUMEN

**PETERSON, C.; NOWAK, A.; JARVIS, A.; NAVARRETE F., C.; FIGUEROA C., A.; RIAÑO H., N.M.; VARGAS S., J.E. Un enfoque multi-dimensional de la Cuenca Alta del Río Cauca de Colombia, con énfasis en la vulnerabilidad. Revista Cenicafé 63 (2): 116-123. 2012**

La Red de Conocimiento del Clima y el Desarrollo (CDKN) ayuda a los países en desarrollo con el diseño y la implementación de un desarrollo compatible con el clima. Cuando quienes toman las decisiones en el gobierno, empresas y sociedad civil nos hablan acerca de sus objetivos y necesidades, a menudo preguntan sobre "las mejores prácticas" en otros países o, de hecho, los errores que deben evitarse. ¿Cuáles son las innovaciones líderes en la integración de la planificación del cambio climático con las estrategias de crecimiento económico y la reducción de la pobreza? ¿Cuáles son los mayores desafíos que enfrentan en el camino: Institucionales, financieros, políticos, técnicos? Este artículo pertenece a una serie de informes políticos que exploran los "Relatos sobre desarrollo compatible con el clima", informes que apuntan a responder estos interrogantes.

---

\* Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT

\*\* Director de Área de Investigación – Análisis de Decisiones y Políticas (DAPA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)

\*\*\* Coordinador de Área de Investigación – Análisis de Decisiones y Políticas (DAPA), CIAT

\*\*\*\* Director Científico CIAgua, Director GEA y Doctorado en Ciencias Ambientales, Universidad del Cauca – Corporación CIAgua – Centro Internacional de Investigación e Innovación del Agua

\*\*\*\*\* Coordinador Programa Caficultura y Variabilidad Climática, Centro Nacional de Investigaciones de Café

\*\*\*\*\* Docente / Investigador, Universidad de Caldas

---

<sup>1</sup> Documento de reflexión no derivado de investigación.

<sup>2</sup> La Red de conocimientos sobre el clima y el Desarrollo (CDKN) tiene como objetivo ayudar a quienes toman las decisiones de los países en desarrollo a diseñar y conseguir un desarrollo compatible con el clima. Esto lo hacemos al ofrecer investigación que nace de la demanda y asistencia técnica, y la canalización de los mejores conocimientos disponibles sobre el cambio climático y el desarrollo para apoyar los procesos de políticas en el plano nacional.

En Colombia, la agricultura es un pilar económico que crea empleo directo para gran parte de la población del país. La dependencia de la agricultura en cuanto a los patrones estacionales predecibles deja a muchas comunidades vulnerables al cambio climático. Las evaluaciones de vulnerabilidad intentan cuantificar el grado en el cual un sistema tendrá que adaptarse a los impactos del cambio climático - o si incluso tiene la capacidad para hacerlo. Estas evaluaciones han sido criticadas por su incertidumbre y su falta de aplicabilidad a nivel local o regional. Sin embargo, un proyecto en la Cuenca Alta del Río Cauca de Colombia ha dado un nuevo enfoque a la evaluación de la vulnerabilidad, utilizando un modelo basado en cuatro dimensiones de la vulnerabilidad. Este informe ofrece una visión general del proyecto, así como consideraciones clave para los análisis de vulnerabilidad que son incluyentes, integrados y sensibles a las complejidades sociales y políticas.

El sector agrícola en Colombia juega un papel muy importante en la actividad económica general del país, contribuyendo entre el 10% y el 14% al Producto Interno Bruto (PIB) y a la creación de medios de vida para más de 3,7 millones de personas (3, 10). Las exportaciones agrícolas representan un total de 40% del PIB colombiano del comercio (3, 10), con el banano, el azúcar y el café verde como las principales materias primas (4). La Cuenca Alta del Río Cauca, una franja que se extiende 25.000 km<sup>2</sup> través de los departamentos occidentales de Colombia, es de especial importancia estratégica, ya que abarca casi todas las cadenas de producción priorizadas por el Ministerio de Agricultura de Colombia, así como una diversidad de sistemas agrícolas que van desde pequeñas operaciones hasta granjas industriales. También es la base de gran parte de la agricultura técnica y de alto

valor en el país, incluyendo la industria del azúcar y una gran parte de las zonas de café y cultivos de frutas (7).

La agricultura colombiana experimentará los efectos del cambio climático en varias formas. El aumento promedio previsto en la temperatura media anual de 2,5°C para el año 2050 y un aumento del 2,5% en la precipitación anual, probablemente provoque la degradación del suelo y la pérdida de materia orgánica en las laderas de los Andes, las pérdidas en los nichos climáticos para el café, las frutas, el cacao y el banano, y los cambios en la prevalencia y distribución de plagas y enfermedades (6). Predicciones climáticas recientes revelan que hasta un 83% de las tierras agrícolas potenciales de Colombia podrían perder su idoneidad climática para 25 de los cultivos más importantes de Colombia (6). Se espera una reducción en el rendimiento y un aumento en los costes de producción como resultado de las plagas y las fluctuaciones de enfermedades, así como la pérdida de nichos de cultivos climáticos, particularmente para cultivos especializados, tales como café (10). En 2025, los daños económicos asociados al cambio climático en la región andina podrían tener un costo de \$30 mil millones de dólares al año, en su mayoría procedentes del sector agrícola (11).

Las consideraciones anteriores, además del hecho de que más del 37% de la población del país se encuentra en o por debajo del umbral de pobreza (12), implica que la agricultura colombiana y la Cuenca Alta del Río Cauca, en particular, son altamente vulnerables a los efectos de del cambio climático. La vulnerabilidad la define el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) como: "el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio

climático, incluyendo la variabilidad y los extremos climáticos" (8).

De acuerdo con la definición del IPCC, la vulnerabilidad es una función de tres variables: La exposición, el grado en que un sistema puede experimentar variación climática, la sensibilidad, el grado en que un sistema es positiva o negativamente afectado por los estímulos relacionados con el clima, y la capacidad de adaptación, la conjunción de capacidades, recursos e instituciones que permiten medidas eficaces de adaptación que deben aplicarse (Figura 1). El análisis de vulnerabilidad puede evaluar las necesidades o la capacidad de adaptación de una población al cambio climático basado en una evaluación de las diferentes combinaciones de estas tres variables.

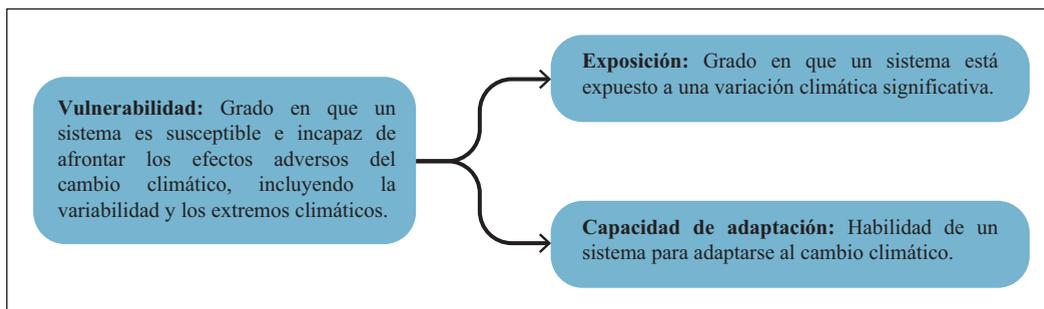
El proyecto Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación (AVA)<sup>1</sup>, también conocido como el proyecto de análisis inter-institucional y multisectorial de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola de la Cuenca Alta del Río Cauca con impacto en las políticas de adaptación, se inició en 2011, cuando un equipo de investigadores, ingenieros y técnicos de cuatro entidades importantes en Colombia -la Universidad del Cauca, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Centro de Investigación Nacional del Café (Cenicafé) y la Universidad de Caldas- se unieron debido a su preocupación por la falta de protocolos para el cálculo de la vulnerabilidad. Actualmente, el proyecto pretende abordar la necesidad urgente de un sistema integrado de análisis que una las variables biofísicas, socioculturales, económicas e institucionales relacionadas con la producción agrícola y el cambio climático en la región. El área piloto es

la Cuenca Alta del Río Cauca, que abarca cinco departamentos: Caldas, Cauca, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. Casi el 20% de la población del país vive en esta región (3).

En lugar de crear una imagen estática de la vulnerabilidad, el enfoque del proyecto AVA reconoce que la participación la acción y la capacidad institucional son fundamentales para la creación de políticas eficaces de adaptación al cambio climático. En particular, el proyecto involucró las partes interesadas desde el principio para identificar subsectores agrícolas de prioridad, indicadores clave y una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad, antes de que éstos se incorporaran en las políticas públicas. El proyecto también difunde información sobre los impactos del cambio climático en la agricultura, y fortalece las plataformas existentes para el intercambio de conocimientos hidro-meteorológicos, biofísicos, sociales y económicos. Por último, la iniciativa tiene por objeto servir de referencia para futuros procesos regionales o nacionales sobre medidas de adaptación. La visión es unir la ciencia, la política y el desarrollo con una metodología que sea universal y comprensible.

**Las partes interesadas del Cauca Alto desarrollan una evaluación de la vulnerabilidad más completa.** Las evaluaciones previas de vulnerabilidad han sido criticadas por no ser lo suficientemente amplias, centrándose únicamente en el análisis de las variables biofísicas o la producción de resultados inciertos. El desafío es encontrar una manera de evaluar con precisión los complejos sistemas agrícolas que se ven influenciados por las variables socioeconómicas difíciles de medir (1, 9). El enfoque debe reunir las interacciones entre las variables

<sup>1</sup> El proyecto AVA es apoyado por la CDKN y ejecutado por la Universidad del Cauca, Universidad de Caldas, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).



**Figura 1.** Vulnerabilidad según la definición del IPCC.

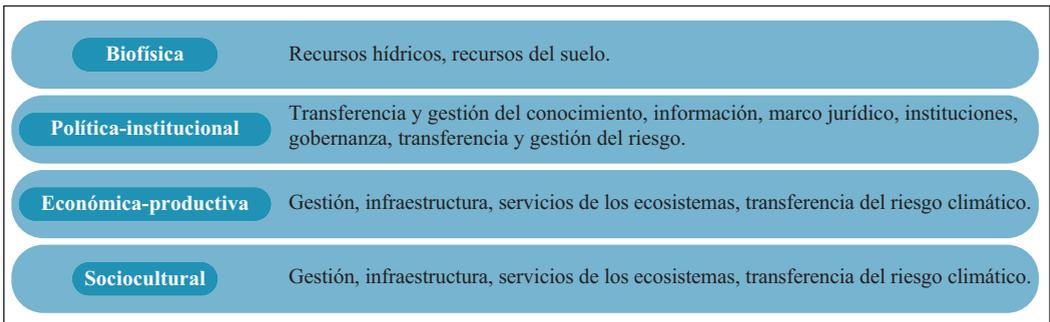
sociales, económicas y ambientales, ya que el cambio climático afecta no sólo a los agricultores sino también a las empresas, instituciones y consumidores (1). El proyecto AVA reconoce la necesidad de un tipo de análisis más inclusivo. Se ha desarrollado una evaluación de vulnerabilidad sensible a las múltiples dimensiones de los impactos del cambio climático, dando más importancia a las variables sociales y haciendo hincapié en los métodos de evaluación que son regionales o locales en sus alcances (2).

El proyecto AVA, en consecuencia, enfatiza en cuatro dimensiones integradas de vulnerabilidad: Biofísica, política-institucional, económica-productiva y socio-cultural (Figura 2). A esta última se le ha dado una consideración especial debido a la rica diversidad sociocultural de la región y la exposición diferencial a los impactos del cambio climático de ciertos grupos sociales. Cada dimensión comprende una variedad de indicadores (Figura 2), que fueron seleccionados para cuantificar un fenómeno particular - como bajos rendimientos de los cultivos o pérdida de la biodiversidad - que hace que las poblaciones sean más vulnerables al cambio climático.

Ha sido necesario recoger datos para poblar o cuantificar, cada indicador. Para algunos indicadores, ya existían datos. En este caso, el trabajo de los investigadores ha sido localizar

los datos, recopilarlos de diversas instituciones (entidades gubernamentales, universidades y organizaciones de investigación, entre otros), verificar su autenticidad y convertirlos a un formato compatible. Otros indicadores, en especial los de la dimensión social, han tenido que ser cuidadosamente definidos, y ha sido necesario identificar las fuentes de información de apoyo.

**La participación de una amplia gama de partes interesadas en la definición de indicadores.** Otro aspecto clave del proyecto AVA es su enfoque participativo para poblar estos nuevos indicadores con datos utilizables. Por ejemplo, la recolección de datos culturales que pueden revelar cambios relacionados con el clima en los calendarios de cultivos, como los tiempos de siembra y cosecha, sólo ha sido posible con la ayuda de los agricultores locales. A través de un taller preliminar, los indicadores fueron identificados primero por las partes interesadas, incluidos los miembros de los sectores agrícolas y ambientales, representantes de la industria, institutos de investigación, académicos, organizaciones de agricultores y las autoridades departamentales y municipales de gobierno. Los participantes definieron la magnitud de cada indicador (en la medida en que éste afecta al sector o región en cuestión), en qué nivel geográfico o institucional debe



**Figura 2.** Las cuatro dimensiones de vulnerabilidad del proyecto AVA.

aplicarse, su priorización en el análisis y los datos de campo necesarios. Un taller subsiguiente dio a los agricultores y a otros grupos la oportunidad de compartir sus conocimientos y experiencias con investigadores, proporcionando datos cualitativos para desarrollar más el indicador.

La identificación, definición y población de los indicadores con los datos del Cauca Alto está casi completa; aún no se ha llevado a cabo el análisis de la vulnerabilidad global que incluya las cuatro dimensiones y sus indicadores. Sin embargo, la visión final - y el gran desafío - es crear una metodología que pueda ser utilizada por todo el mundo. Con este fin, a pesar de sus diferentes motivaciones, los investigadores y los interesados por igual están compartiendo la responsabilidad de desarrollar un sistema de análisis integral y funcional que incorpore los indicadores relevantes, no sólo aquellos para los cuales hay datos disponibles.

*“El trabajo integrado, interinstitucional es de suma importancia para poder compartir recursos, conocimientos y experiencias, y así optimizar los resultados de proyectos como éste”.* (Francisco Boshell, Director de Recursos Humanos, Universidad Nacional de Colombia).

**No sólo para los científicos: una herramienta accesible.** ¿Qué quieren realmente los actores del proyecto de la Cuenca Alta del Río Cauca? Sus motivaciones pueden ser diferentes en función de su nivel socioeconómico, los pequeños agricultores necesitan la seguridad alimentaria, mientras que los agricultores a escala industrial quieren reducir sus riesgos de inversión. A pesar de estas diferencias, todos los agricultores de la región del Alto Cauca han experimentado los impactos del cambio climático de una manera u otra. El líder del proyecto Apolinar Figueroa explica: “Ellos saben que el cambio climático está ocurriendo, pero es posible que entiendan o no por qué. Tienen una comprensión aún menor acerca de lo que podría suceder en el futuro –ellos se preocupan por cómo van a sobrevivir hoy”. Por lo tanto, todos los productores agrícolas tienen una esperanza en común: Encontrar una herramienta práctica que pueda ayudar a planificar para la productividad y la salud de su granja, comparar regiones, comparar las cosechas, y entender las ventajas e inconvenientes de los diferentes sistemas agrícolas en el contexto del cambio climático.

*“Ellos saben que el cambio climático está ocurriendo, pero es posible que entiendan o no por qué. Tienen una comprensión aún menor acerca de lo que podría suceder en el futuro –ellos se preocupan por cómo van*

*a sobrevivir hoy”* (Apolinar Figueroa, líder del proyecto, AVA proyecto).

## LAS LECCIONES APRENDIDAS HASTA EL MOMENTO

**Compartir el conocimiento interdisciplinar es fundamental.** Una idea clave de la cual se apropiaron los participantes del taller AVA es que no sólo es la cooperación interinstitucional posible, sino que también es crítica para que las evaluaciones sean plenamente compatibles con los datos existentes. La información es mucho más útil cuando se han normalizado, pero hay buenos datos que pueden pasarse por alto si se dispersan y no están coordinados. Además, la identificación de los indicadores se realiza mejor mediante la participación de las instituciones y personas que gestionan los datos requeridos. Ellos son los mejores jueces de la pertinencia y la viabilidad de los indicadores seleccionados.

**La participación de los interesados asegura una acción integradora, multidisciplinaria e intersectorial.** Sin lugar a dudas, uno de los puntos fuertes del proyecto AVA es su enfoque participativo. Varios actores con un interés común en el sistema productivo agrícola de la región han participado activamente en todas las etapas del proyecto, desde la discusión de la vulnerabilidad de los modelos de evaluación existentes hasta el diseño y formulación de una nueva metodología. Esto, a su vez, ha establecido las bases para una agenda más inclusiva, para establecer una acción que cierre la brecha entre la ciencia, la política, los productores y los consumidores, y que garantice opciones de mitigación y adaptación que sean a la vez multidisciplinarias e intersectoriales. Si bien este enfoque puede ser costoso y puede no producir unanimidad debido al reto de coordinar los diferentes tipos de conocimientos entre disciplinas, es un

ejercicio al que cualquier estrategia de adaptación y planificación de la mitigación debe ser sometida.

**No hay éxito sin compromiso.** Las agendas inclusivas, un enfoque multidisciplinario y los buenos indicadores no son suficientes para garantizar la creación o implementación de un plan de adaptación o mitigación. Para traducir una agenda ambiciosa en políticas concretas a las que se adhieran los sectores público y privado, debe haber un fuerte compromiso de los interesados. Aunque el compromiso continuo es difícil de monitorear - sobre todo en el ámbito político, donde las legislaturas y las prioridades nacionales de planificación del desarrollo cambian a menudo - esto no debe desalentar las iniciativas para hacer frente a la planificación de la adaptación al cambio climático.

**Algunos indicadores pueden ser difíciles de medir.** Para ser útil, un indicador debe tener datos asociados que estén ampliamente disponibles, accesibles, únicos, medibles, específicos y de confianza. En la dimensión biofísica, por ejemplo, hay bases de datos amplias y de fácil acceso que contienen décadas de datos de temperatura y precipitación. A otras variables, sin embargo, tales como el viento, la radiación solar y la humedad, les hacen falta datos lo suficientemente consistentes como para llevar a cabo un análisis útil. La falta de información puede confundir los intentos de aplicar la metodología del proyecto en otros países, como Ecuador o Bolivia, donde las bases de datos existentes tienen incluso más baja densidad de población que en Colombia.

Además, los indicadores político-institucionales pueden ser especialmente difíciles de definir debido a su tendencia a solaparse con los indicadores de otras

dimensiones. Éstos requieren un examen profundo para asegurar que el análisis para un indicador no se repite para un indicador similar en otra dimensión. Los indicadores político-institucionales también son difíciles de clasificar en una de las tres variables de vulnerabilidad; casi todos tienen que ver con la capacidad de adaptación, pero también pueden reflejar aspectos de la exposición o la sensibilidad.

**La incertidumbre inherente complica, pero no impide, una evaluación integrada útil.**

La complejidad de los sistemas naturales significa que los modelos utilizados para pronosticar los impactos del cambio climático vienen con incertidumbres incorporadas. Esto crea problemas para las evaluaciones de vulnerabilidad que se basan únicamente en los indicadores biofísicos, tales como las evaluaciones previas llevadas a cabo por el Gobierno colombiano. La incorporación de otras dimensiones clave, especialmente las dimensiones socioculturales y político-institucionales, ofrece un análisis que es menos sensible a las incertidumbres de los modelos unidimensionales y que tiene más probabilidades de ser pertinente, independientemente de la precisión de los modelos climáticos.

## CONCLUSIONES

- La agricultura desempeña un papel importante en la economía de Colombia, lo que contribuye entre el 10% y el 14% con el PIB global. No obstante, 25 de los cultivos más importantes del país podrían verse amenazados por el cambio climático; esto generaría importantes pérdidas económicas.
- En colaboración con las comunidades agrícolas, los investigadores colombianos están desarrollando un modelo integral para

analizar la vulnerabilidad. Esto complementa los esfuerzos internacionales previos y sienta las bases para la adaptación de los sistemas agrícolas a la variabilidad climática de manera más eficiente.

- El proyecto Agricultura, Vulnerabilidad y Adaptación (AVA) aplica un modelo cuatri-dimensional para el análisis de la vulnerabilidad que incluye factores biofísicos, político-institucionales, económico-productivos y socio-culturales. Este tipo de análisis es menos sensible a las incertidumbres de modelos unidimensionales y más susceptible de ser pertinente, independientemente de la precisión de los modelos climáticos.
- Los enfoques participativos interdisciplinarios, el intercambio de conocimientos y el compromiso sostenido son fundamentales para el éxito de estos métodos de evaluación de la vulnerabilidad.
- Las evaluaciones de vulnerabilidad integrada futura podrían ampliarse y reflejarse en amplios procesos regionales, nacionales o internacionales de planificación de la adaptación.

## LITERATURA CITADA

1. BENEDIKTER, A.; LÄDERACH, P.; EITZINGER, A.; BUNN, C.; COOK, S. Adaptation of food supply chains to the impacts of progressively changing climate. Cali : CIAT, 2011.
2. CIAT. Reflexiones sobre el primer taller: Workshop report for CDKN project Inter-institutional, multi-sectoral analysis of vulnerability and adaptation to climate change for the agricultural sector in the upper Cauca river basin impacting adaptation policies. Cali : CIAT, 2011.
3. DANE. Estadística DANE. Bogotá : DANE, 2011.
4. FAO. FAOSTAT. Rome : FAO, 2010.

5. JARVIS, A.; RAMÍREZ V., J.; TAPASCO, J.; NAVARRO, C.; PETERSON, C.A.; ZAPATA, E.; FISHER, M.J. Are climate change adaptation and mitigation options eco-efficient? En: *Eco-efficiency: From vision to reality*. Cali : CIAT, {s.f.}. (in press).
6. LAU, C.; JARVIS, A.; RAMÍREZ, J. Colombian agriculture: Adapting to climate change. Cali: CIAT, 2010. (CIAT Policy brief No. 1).
7. MARTÍNEZ, C.; FIGUEROA, A. Concertación de la metodología y definición de compromisos para la recolección de datos e información para el modelo de vulnerabilidad: Internal workshop report for CDKN project Inter-institutional, multi-pectoral analysis of vulnerability and adaptation to climate change for the agricultural sector in the upper Cauca river basin impacting adaptation policies. Cali : CIAT, 2012.
8. MCCARTHY, J.J.; CANZIANI, O.F.; LEARY, N.A.; DOKKEN, D.J.; WHITE, K.S. Climate change 2001 impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Geneva : IPCC, 2001.
9. PATT, A.; KLEIN, R.J.T.; DE LA VEGA L., A. Taking the uncertainty in climate change vulnerability assessment seriously. *External geophysics, climate and environment* 337:411-424. 2005.
10. RAMÍREZ V., J.; SALAZAR, M.; JARVIS, A.; NAVARRO R., C.E. A way forward on adaptation to climate change in colombian agriculture: Perspectives towards 2050. *Climatic change* 115(3/4):611-628. 2012
11. SGCAN. El cambio climático no tiene fronteras: Impacto del cambio climático en la comunidad Andina. Lima : Secretaría general de la comunidad Andina, 2008.
12. WORLD BANK. World development indicators. [En línea]. Washington : World Bank, 2012. Disponible en internet: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>



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

**DIRECCIÓN**

Fernando Gast H., Biólogo Ph.D.  
Ángela Liliana Zapata R., Administradora de Empresas M.Sc.

**PROGRAMA PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD**

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D.

**PROGRAMA CAFICULTURA Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA**

Néstor Miguel Riaño H., Ing. Agrónomo Ph.D.

**DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN**

**Calidad**

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.  
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga \*\*  
Andrés Mauricio Villegas H., Ing. Agrónomo M.Sc.\*\*  
Auberto Quiroga M. Biólogo  
Gustavo Echeverri M.  
Adriana Milena Vallejo E.  
Gerardo de Jesús Ocampo R.

**Gestión de Recursos Naturales y Conservación**

Nelson Rodríguez V., Ing. Químico Ph.D.  
Jorge Eduardo Botero E., Ecólogo Ph.D.  
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico  
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista  
Claudia Rocío Gómez P., Tec. Química  
Juan Carlos López N., Microbiólogo \*\*  
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y Zootecnista  
José Rafael Rodríguez N., Lic. Biología y Química Esp.  
Jennifer Andrea Galeano S., Bióloga  
Laura Vanessa Quintero Yepes, Ing. Química  
Samuel Antonio Castañeda  
Estefanía Vanegas Cárdenas, Aprendiz Universitario

**Fisiología vegetal**

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Aristóteles Ortiz, Químico\*\*  
Jenny Lorena Aguirre M., Ing. de Alimentos  
Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo  
Luz Fanny Echeverry G., Química  
Marta Bibiana Escobar P., Tec. Químico  
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo  
Mauricio Serna O., Ing. Electrónico  
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Humberto Iván Ríos., Ingeniero Ambiental Esp.  
Óscar Gonzalo Castillo R., Ing. Catastral y Geodesta M.Sc.  
Yulieth Paola Giraldo E. Ing. de Sistemas y Telecom Esp.  
Juan David Hernández Arredondo, Ing. Agrónomo M.Sc.  
Claudia Marcela Mora Agudelo  
Mario Franco A.

Braian Alejandro López O.  
Claudia Patricia Valencia V.  
José Robín García C.

**Suelos**

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Hernán González O., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
José Horacio Rivera P., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga\*\*  
Alveiro Salamanca J., Ing. Agrónomo\*  
Vanessa Catalina Díaz P., Química  
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental  
Fabio Alexis Torres Angarita, Ing. Agrónomo Esp.  
Arturo Gómez V.

**Fitotecnia**

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.  
José Raúl Rendón Sáenz, Ing. Agrónomo M.Sc.  
Carlos Augusto Ramírez C., Tec. Técnicas Forestales  
Leidy Tatiana Bermúdez F., Ing. Agrónomo  
Nathalia Díaz Mejía, Ing. Agrónomo  
José Rubiel Castrillón G, Ing. Sistemas y Telecom.

**Mejoramiento Genético**

Hernando Alfonso Cortina G., Ing. Agrónomo M.Sc.  
José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.  
Juan Carlos Herrera P., Biólogo Ph.D.  
María del Pilar Moncada B., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.  
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
Jefferson Medina O., Biólogo\*\*  
Alexa Yadira Morales C., Bióloga  
Ligia Belén Suescún P., Ing. de Prod. Biotecnológica  
Mónica Quintero M., Ing. Biológica \*\*  
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero  
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero  
Jairo Jaramillo O., Tec. en Electrónica  
Andrea Valencia O., Bióloga  
Luis Enrique Chanchí A.  
Hernán Díaz C.  
Cruz Elena Díaz M.  
Omar Villarreal  
Sandra Liliana Largo V.

**Entomología**

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.  
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.  
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo\*  
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo  
Mauricio Jiménez Q., Tec. Administración Agropecuaria  
Lucio Navarro E., Biólogo\*

Juan Paulo Pimentel S., Tec. Adm. Empresas Agropecuarias  
Juan Carlos Ortiz F.  
Carlos Alberto Quintero A.  
Diana Soraya Rodríguez A., Téc. en Producción de Café  
Claudia Bibiana Tabares B.  
Faber de Los Ríos P.  
Diana Marcela Giraldo V.

#### **Agroclimatología**

Andrés Javier Peña Q., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola  
Wilmar A. Rendón G., Tec. en Sistemas Informáticos  
Myriam Giraldo M.  
Luis Gonzaga Henao R.  
Fabián Sánchez L.  
Luis Fernando Torres Q.  
Jorge Hernán Marulanda E., Tec. en Electrónica  
Orlando Salazar G.

#### **Fitopatología**

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo Ph.D.  
Marco Aurelio Cristancho A., Microbiólogo Ph.D.  
Juan Manuel López Vásquez, Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Alejandra María Hoyos G. Ing. Agrónomo  
Carlos Alberto Zuluaga E., Tec. en Mantenimiento en Comp. y Redes  
Carlos Arturo González V.  
Jorge Dicksson Ocampo M.  
Jaroliver Cardona G.  
Juan Carlos López C.

#### **Sostenibilidad**

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos M.Sc.  
Gloria Esperanza Aristizábal V., Lic. Bióloga y Química M.Sc.  
María Cristina Chaparro C., Química M.Sc.  
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial M.Sc.  
Monserrat Dayana Prieto Muñoz, Ing. Agrónoma Esp.  
Paola Andrea Espejo G. Antropóloga \*\*  
Mario López L.  
Daniela Gaviria H., Aprendiz  
Cristian Giraldo Q., Aprendiz

#### **Ingeniería agrícola**

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.  
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.  
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.  
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos M.Sc.\*  
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico M.Sc.\*\*  
Ricardo José Grisales M., Tec. en Electrónica  
José Farid López D., Tec. en Administración Agropecuaria  
Javier Arias H.  
Mario Espinosa G.  
Javier Velásquez H.

#### **EXPERIMENTACIÓN**

---

Carlos Gonzalo Mejía M., Admr de Empresas Agropecuarias M.Sc.  
Kelly Johana Correa A., Prof. en Adm. de Mercadeo

#### **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\*\*

#### **Estación Experimental La Catalina**

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

#### **Estación Experimental Libano**

Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo

#### **Estación Experimental Paraguaicito**

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo \*\*  
Daniel Antonio Franco C., Tec. en Gestión Agropecuaria \*\*

#### **Estación Experimental Pueblo Bello**

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

#### **Estación Experimental Santander**

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

#### **APOYO A LA INVESTIGACIÓN**

---

#### **Biometría**

Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.  
Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.  
Hernando García O., Técnico en Mantenimiento Eléctrico\*\*

#### **Documentación**

Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas, Bibliotecóloga, Esp.  
Nancy Elena Pérez M., Contador Público  
Jorge Wilmar Valencia G. Tec. en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información

#### **Economía**

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.

#### **Divulgación y Transferencia**

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónomo 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  
Luis Fernando Castaño C. Aprendiz

#### **UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA**

---

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.  
Rufina Perdomo G.

#### **Gestión Contable y Tributaria**

Martha Elena Vélez H., Contador Público Esp.  
Jesús Danilo González O., Contador Esp.  
María Consuelo González H.

#### **Gestión de Bienes y Servicios Mantenimiento**

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónica\*\*  
Cristian David Sabogal E., Ing Electrónico y Electricista  
Gabriel Hernando Ortiz C., Tec. en Gestión Bancaria y Financiera  
Uriel López P.  
José Asdrúbal Muñoz  
Rogelio Rodríguez G.  
Javier Vanegas V.

Eduardo Villegas A.  
Fredy Hernán Osorio C.  
Mauricio Alexander Erazo S. Técnico Electricista  
Andrés Julián Rendón O., Aprendiz Universitario

#### **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., Tec. Administración de Negocios  
Germán Uriel G., Administrador de Empresas, Esp.  
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional Esp.\*\*

#### **Planeación Financiera y Presupuesto**

Jesús Alberto Cardona L. Ing. Industrial M.Sc.  
Damaris Márquez G., Administradora Financiera\*\*  
Federico Giraldo D., Administrador de Empresas

#### **Gestión de Bienes y Servicios Contratación**

Juan David Alzate Ocampo, Economista, M.Sc.

Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial  
Luz Stella Duque C., Tec. en Administración de Negocios  
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional\*\*  
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público  
Yolanda Castaño G.  
Gabriel Antonio Melo P.  
Juan Pablo Jaramillo B., Técnico en Fotografía  
Lina María Giraldo, Tec. Asistente Administrativo\*\*  
Karen Osorio V., Aprendiz  
Danny Alejandro Pineda G., Aprendiz

#### **Tecnología de la Información y Comunicaciones**

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico  
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.\*\*  
Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía  
Elkin Marcelo Valencia L., Ingeniero de Sistemas\*\*  
Arley Valencia S., Ingeniero Electrónico\*\*  
Daniel Orozco J., Ing. Sistemas y Telecom. Esp.  
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.  
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.  
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. Sistemas y Telecom.

---

\*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<sup>-1</sup>, y no 5 g de peso seco.día<sup>-1</sup>
  - \_ Se aplicaron 25 g.ha<sup>-1</sup> del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
  - \_ Cada planta recibió 20 g.ha<sup>-1</sup> de agua, y no 20 g H<sub>2</sub>O/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)

### **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. Está 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

Diseño y  
Diagramación: Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión: Javegraf

1.200 ejemplares

Para canjes con esta publicacion dirigirse a:  
Centro de Documentación  
Centro Nacional de Investigaciones de Café  
Cenicafé  
Manizales - Caldas - Colombia



**Cenicafé**

*Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938*

[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)