

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 62 Número 2

Julio - Diciembre 2011



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Mauricio Cardenas Santamaría

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Rubén Darío Lizalde Montoya

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Santiago Rojas Arroyo

Director del Departamento Nacional de Planeación

Mauricio Santa María

COMITÉ NACIONAL

Periodo 1° enero/2011- diciembre 31/2014

Álvaro Peláez Gómez

Mario Gómez Estrada

Carlos Alberto Gómez Buendía

Carlos Roberto Ramírez Montoya

Luis Javier Trujillo Buitrago

Darío James Maya Hoyos

Jaime García Parra

Fernando Castro Polanía

Fernando Castrillón Muñoz

Javier Bohórquez Bohórquez

Crispín Villazón de Armas

Ramón Campo González

Jorge Cala Roballo

Camilo Gómez Montero

Alfredo Yáñez Carvajal

Gerente General

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Administrativo

LUIS FELIPE ACERO LÓPEZ

Gerente Financiero

JULIÁN MEDINA MORA

Gerente Comercial

CONSTANZA MEJÍA DE LOS RÍOS (E)

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 de 2013
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales
E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com
www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 62

JULIO - DICIEMBRE 2011

No. 2

CONTENIDO

- CERTIFICACIÓN *RAINFOREST ALLIANCE*, UNA MIRADA DESDE LA PERCEPCIÓN DE LOS CAFICULTORES DE CUNDINAMARCA Y SANTANDER.** Paola Andrea Calderón Cuartas; César Alberto Serna Giraldo; Jhon Félix Trejos Pinzón; Gabriel Cruz Cerón7
- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, SEGÚN EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN.** Gloria Inés Puerta Quintero; Sara Ríos Arias23
- DIFERENCIACIÓN GENÉTICA Y BIOLÓGICA DEL PARASITOIDE DE LA BROCA DEL CAFÉ, *Prorops nasuta*, EN COLOMBIA.** Carlos Ernesto Maldonado Londoño; Pablo Benavides Machado41
- EFFECTO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA SOBRE *Beauveria bassiana* Y SU VIRULENCIA A LA BROCA.** Sandra Patricia Valdés Gutiérrez; Luz María Escobar López; Luz América Córdoba Castro; Carmenza Esther Góngora Botero58
- EVALUACIÓN DE HONGOS Y NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE *Dictyla monotropidia* HEMIPTERA: TINGIDAE.** Harol Enrique Martínez Córdoba; Carlos Mario Ospina Penagos; Esther Cecilia Montoya Restrepo; Juan Carlos López Núñez; Pablo Benavides Machado69
- IMPACTO DE LA EROSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ.** Edgar Hincapié Gómez; Luis Fernando Salazar Gutiérrez79
- MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PRODUCTIVAS DE ÁRBOLES DE CAFÉ.** Gloria María Betancur Arboleda; Carlos Eugenio Oliveros Tascón; Esther Cecilia Montoya Restrepo90
- SISTEMA DE MALACATE Y VAGÓN PARA TRANSPORTE DE CAFÉ EN CEREZA EN CONDICIONES DE ALTA PENDIENTE.** Juan R. Sanz Uribe; Carlos E. Oliveros Tascón; César A. Ramírez Gómez; María T. Londoño González100
- VENTAJAS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA ADOPCIÓN DE LA NORMA DE AGRICULTURA SOSTENIBLE EN DOS REGIONES CAFETERAS DE COLOMBIA.** Jhon Félix Trejos Pinzón; César Alberto Serna Giraldo; Gabriel Cruz Cerón; Paola Andrea Calderón Cuartas111

COMITÉ EDITORIAL

Fernando Gast H.	PhD. Director, Cenicafé
Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Ing. Mecánico. Ingeniería Agrícola, Cenicafé
Juan Carlos Herrera P.	PhD. Biólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Víctor Hugo Ramírez B.	MSc. Ing. Agrónomo. Fitotecnia, Cenicafé
Andrés Peña Q.	MSc. Ing. Agrónomo. Agroclimatología, Cenicafé
Sandra Milena Marín L.	Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia, Cenicafé

EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 62 (2)

Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Pablo Benavides M.	PhD. Cenicafé, FNC
Víctor Hugo Ramírez B.	MSc. Cenicafé, FNC
Andrés Peña	MSc. Cenicafé, FNC
Paula Jimena Ramos	MSc. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino	MSc. Cenicafé, FNC
Aida E Peñuela	MSc. Cenicafé, FNC

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

Fernando Farfán V.	MSc. Cenicafé, FNC
Bertha L. Castro C.	MSc. Cenicafé, FNC
Alex E. Bustillo P.	PhD. Cenicafé
Gabriel Calle T.	PhD. Universidad Tecnológica de Pereira
Rolando Tito Bacca I.	PhD. Universidad de Nariño
Alberto Soto G.	PhD. Sanidad Vegetal, Universidad de Caldas
Sirley Palacios C.	MSc. Universidad de Santa Rosa de Cabal, Unisarc
Juan F. Rivera H.	MSc. Universidad de la Salle
Ricardo A. Peña V.	MSc. Universidad de La Salle
Blanca I. Montañez O.	MSc. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.
Francisco J. Bustamante	MSc. Cafexport s.a.r.l.
Flavio A. Prieto O.	PhD. Automatización Industrial, Universidad Nacional sede Bogotá
Iván D. Aristizábal T.	PhD. Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Nacional sede Medellín
Edilson L. Moreno C.	PhD. Mecanización y Tecnología Agraria, Universidad Nacional sede Medellín
Fernando Álvarez Mejía	MSc. Ing. Agrícola. Universidad Nacional sede Medellín
Juan F. López	MSc. Universidad Tecnológica de Pereira
Sandra P. Tobar H.	Microbiólogo, Laboratorio BIOCALIDAD, Manizales
Alma Henao T.	Bibliotecóloga. Cenicafé, FNC
Olga Umaña C.	MA. Traducción. Lic. en Lenguas Modernas

Editores: Fernando Gast Ph.D.
Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

CERTIFICACIÓN *RAINFOREST ALLIANCE*, UNA MIRADA DESDE LA PERCEPCIÓN DE LOS CAFICULTORES DE CUNDINAMARCA Y SANTANDER

Paola Andrea Calderón Cuartas*; César Alberto Serna Giraldo***; Jhon Félix Trejos Pinzón**;
Gabriel Cruz Cerón****

RESUMEN

CALDERÓN C., P.A.; SERNA G., C.A.; TREJOS P., J.F.; CRUZ C., G. Certificación *Rainforest Alliance*, una mirada desde la percepción de los caficultores. Revista Cenicafé 62 (2): 7-22. 2011

Para conocer la percepción que tiene el caficultor frente a la adopción de la certificación *Rainforest Alliance* (RA), en el año 2009, se aplicaron 72 entrevistas semiestructuradas a caficultores certificados con el sello RA, de los departamentos de Cundinamarca y Santander. En la encuesta e interrelación con el caficultor se abordaron aspectos sociales, ambientales y se consultó sobre la percepción de los productores sobre la certificación, incluyendo algunos elementos básicos de la metodología de valoración contingente de bienes y servicios ambientales, para conocer la disposición a pagar expresada por el caficultor, para mantener o conservar la certificación. Los resultados indican que varios requisitos establecidos por la Norma de Agricultura Sostenible (NAS) de RA, ya se cumplían por parte de los caficultores antes de estar certificados, como ofrecer en las fincas buenas condiciones de pago y trato justo a los trabajadores, efectuar prácticas de conservación de suelos, llevar registros contables y de labores en la finca. Los agricultores consideran como ventaja de la certificación evitar multas y sanciones ambientales, reduciendo la contaminación de las aguas y logrando una protección de hábitats y ecosistemas. Respecto a la disposición a pagar por conservar la certificación, el 44,2% de los caficultores manifestaron estar de acuerdo, con valores entre los \$ 1.333 y \$ 263.158 por hectárea al año. La percepción general de los caficultores certificados con relación a los beneficios de la certificación es positiva, desde lo social y lo ambiental, y expresan insatisfacción con el resultado económico derivado de tal certificación.

Palabras clave: Sellos, café, valoración económica ambiental, Norma de Agricultura Sostenible.

ABSTRACT

In order to better understand farmers' perceptions about the adoption of the Rainforest Alliance certification (RA) in 2009, 72 semi-structured interviews were administered to certified coffee growers with RA stamp in Cundinamarca and Santander. The survey and the interaction with the farmers addressed social and environmental aspects as well as the producers' perception of the certification. It also included some basic elements of the contingent valuation method of environmental goods and services, with the purpose of understanding the farmers' willingness to pay to maintain or retain the certification. The results indicate that the farmers were already meeting several requirements set by the Sustainable Agriculture Standard (NAS) of the RA before being certified. Such requirements are, for instance, good payment terms and fair treatment of workers in the farms, engagement in soil conservation, and updated accounting and farm work records. Farmers consider that avoiding certification and environmental penalties, reducing water pollution and achieving protection of habitats and ecosystems are advantages. Regarding the willingness to pay to preserve certification, 44.2 % of the farmers expressed their agreement with values between \$1,333 and \$263,158 per hectare per year. The general perception of the certified farmers regarding the benefits of certification is positive from the social and environmental issues, but they expressed dissatisfaction with the economic results derived from such certification.

Keywords: Stamps, coffee, environmental economic valuation, Sustainable Agriculture Standard.

* Administradora Ambiental, MSc. Docente Investigadora, Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia

*** Investigador Científico I, Disciplina de Economía. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

** Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé.

**** Ingeniero Agrónomo Ph.D. Profesor Titular, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.

En Colombia, la caficultura desarrollada en los departamentos de Cundinamarca y Santander presenta escenarios contrastantes en cuanto a los sistemas de producción, las condiciones agroecológicas y las características culturales de los caficultores. En Cundinamarca, en la vertiente occidental de la cordillera Oriental, el cultivo de café encontró ecosistemas de gran biodiversidad, potencial agrológico e importante vocación de los productores por el campo, factores que han facilitado el desarrollo del café en 49 mil hectáreas y 34 municipios cafeteros; los cultivos de café están sembrados tanto a libre exposición como en asocio de diferentes especies arbóreas y arbustivas de sombrío como flormorados, carboneros, cámbulos y otros de la variada flora andina, característica que determina compromisos ecológicos de gran envergadura a la producción cafetera relacionados con la conservación de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental, además de atributos aromáticos al grano, característicos de tales sistemas. En el plano comercial, los caficultores de la región han construido un esquema interno conformado por una cooperativa, una planta trilladora, una planta torrefactora y una red de 34 puntos de compra que garantizan la comercialización del café y estimulan la dinámica de los mercados locales (9).

La caficultura santandereana se encuentra en 69 de los 86 municipios del departamento, cuenta con 42.746 hectáreas sembradas en café, de las cuales el 89% están tecnificadas y mantienen sombrío permanente con especies diversificadas, lo cual contribuye a la estabilidad ecológica y a la biodiversidad, característica aprovechada para incrementar la oferta cafetera hacia la producción de cafés especiales. En Santander, la renovación de los cafetales envejecidos y la aplicación de prácticas sostenibles en el cultivo del café, son acciones que tienen efectos positivos en las condiciones de vida de los productores,

la calidad del café, la protección del medio ambiente y, principalmente, en el logro de mejores precios en el mercado, para cubrir los costos de producción del cultivo (9).

En la actualidad existe una tendencia internacional hacia la ecoeficiencia de los procesos productivos, la aplicación de estrategias de producción más limpia y buenas prácticas agrícolas para lograr la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria. Fundanatura (13) considera que existe una conciencia generalizada sobre los grandes impactos ambientales ocasionados por los sectores productivos, lo cual se constituye en una oportunidad para que entidades gubernamentales y no gubernamentales brinden apoyo en la gestión ambiental local y regional para la disminución de la huella ecológica a partir de la prevención, mitigación y solución de problemas socioambientales que aporten a soluciones globales. La certificación de los sistemas productivos de café podría ser un instrumento para mejorar el desempeño ambiental de las fincas, cuyos cambios locales en el manejo sostenible se van generalizando y de esta manera logran impactar la sostenibilidad del sector rural, lo cual debe ser reconocido y apoyado por los compradores responsables con el medio ambiente.

En un estudio realizado por el Centro Agronómico Tropical para la Investigación y Enseñanza (CATIE-Costa Rica) (21), se consultó la percepción del productor costarricense sobre los diferentes sellos de certificación de café; se registró que entre las principales razones para certificarse sobresalen: el cuidado del ambiente, lograr mejores precios del café, atenuar problemas y riesgos en la salud y el manejo sostenible del suelo. Resalta que la mayoría de las fincas verificadas en C.A.F.E. *Practices* (53%), y certificadas Comercio Justo (65%) y UTZ

Certified (47%), deseaban mejorar el precio del café por vía de la certificación; además, el 53% de los productores certificados por *Rainforest Alliance* y el 47% de productores orgánicos fueron motivados por el manejo de los problemas ambientales.

Arauz (1) menciona que algunos factores que han motivado cambios en los productores cafeteros de Costa Rica son: los efectos negativos creados por la agricultura intensiva, los altos precios de los agroquímicos, una mayor concienciación en agricultores y consumidores sobre la sostenibilidad integral de las fincas, los resultados de la investigación científica vinculada al manejo de las plagas y enfermedades de los cultivos, la agroecología, la mayor experiencia en agricultura orgánica, y el apoyo oficial a las políticas ambientales y de sostenibilidad de los recursos naturales.

La percepción de los productores que lograron la certificación conlleva a cambios observados en sus fincas como resultado de tal reconocimiento; se vinculan como logros el mejoramiento del suelo con materia orgánica, factor influido por el uso del sombrero, y la reducción en la aplicación de agroquímicos, con el consecuente aumento del aporte de biomasa vegetal al suelo. Es de aclarar que las fincas certificadas por sellos como Orgánicas, Comercio Justo y *UTZ Certified*, y verificadas como *C.A.F.E. Practices*, habían instalado sombrero antes de la certificación, existiendo un efecto preterdeterminado con enfoque al manejo ecológico y sostenible de los suelos en los cafetales (21). Es de considerar que en escenarios de persistencia de bajos precios del grano, según la percepción general de los productores de café, conlleva a los mismos a buscar alternativas para mejorar sus ingresos.

Los caficultores reciben a menudo primas de precio o precios especiales por el café de

manejo sostenible, factiblemente de mayor calidad, lo que contribuye a la presencia de un entorno más favorable, y a su vez, contrarresta los descensos en el precio del grano y mejora la distribución del ingreso a lo largo de la cadena productiva (5). La valoración de aspectos económicos de la caficultura en Costa Rica permite identificar que una mayoría de los productores certificados en Comercio Justo (69%) y *Rainforest Alliance* (60%), mejoraron los ingresos por la venta de café certificado. En contraste, los productores verificados con *C.A.F.E. Practices* (60%), certificados orgánicos (59%) y *UTZ Certified* (53%), señalaron que no se mejoró el ingreso por la venta de café certificado (21).

Como organización internacional, *Rainforest Alliance* apoya en forma complementaria, a agricultores, productores forestales y a profesionales del agro, en la actividad ecoturística, incentivando prácticas que protejan el agua, el suelo, el hábitat de la vida silvestre y los ecosistemas forestales (15). Los incentivos anteriores permiten evaluar la Disposición a Pagar (DAP) a los caficultores, mediante técnicas de valoración contingente, como valor económico que los caficultores le otorgan a los cambios en bienestar derivados de la certificación; para obtener tal estimación de la DAP se requiere definir cuál es el cambio en el recurso a valorar y cuál es la población favorecida por tal cambio (7).

Los estudios sobre percepción configuran la apreciación de los productores con respecto a decisiones como la certificación, mediante la integración de variables sociales, tecnológicas, ambientales y económicas; además describen cómo el productor certificado asume las conveniencias, oportunidades, debilidades y restricciones de tal condición. Las apreciaciones de los productores dependen de factores como

la edad, el género, los recursos económicos comprometidos, la racionalidad, experiencia y tiempo de certificación.

Los anteriores elementos determinan la importancia de evaluar la percepción general que tienen los productores certificados de dos regiones cafeteras de Colombia sobre los aspectos de potencial mejoramiento gracias a la adopción de la Norma de Agricultura Sostenible de RA, y la calificación de la misma según los beneficios percibidos y la disposición a pagar para conservar la certificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los departamentos de Cundinamarca y Santander, en el año 2009; en cada uno de ellos se seleccionaron 36 fincas certificadas con el sello *Rainforest Alliance* por un período mínimo de 3 años, mediante la aplicación del método de muestreo aleatorio estratificado. En estas fincas se llevó a cabo un estudio específico de carácter exploratorio, bajo un diseño no experimental, donde se observaron las características tal y como se dieron en el contexto natural de las fincas para posteriormente analizarlas.

En cada finca seleccionada se aplicó una entrevista semiestructurada, cuya información contenida hacía referencia a las condiciones sociales del propietario o productor de la finca, y la percepción del productor sobre la certificación RA, en los siguientes aspectos: Diagnóstico de las características previas a la certificación, aspectos mejorados gracias a la certificación, evaluación de la certificación según las expectativas cumplidas y la disposición a pagar para seguir certificado. Tales variables se manejaron tanto mediante la aplicación de herramientas de estadística descriptiva (gráficos, análisis de frecuencia y medidas

de tendencia central), como de estadística inferencial, principalmente pruebas de Chi cuadrado, para establecer la independencia entre las variables cruzadas, y a su vez, de interés estadístico y de resultados.

Diagnóstico sobre condiciones y características previas a la certificación.

Se constató a nivel de finca la situación respecto a la condición de certificación; se aclara que para obtener la certificación por primera vez o para su renovación, la finca auditada debe cumplir con los requisitos de las normas para agricultura sostenible indicados: conformidad con el 80% de las normas aplicables, más la conformidad con el 50% o más de los principios de la norma, y ninguna evidencia de no conformidad con los criterios críticos de las mismas (22). En el proceso previo de adopción de la certificación y cumplimiento de los requerimientos citados anteriormente, se considera que la finca debe contar con una serie de requisitos propios y característicos de la Norma de Agricultura Sostenible (NAS); por tal motivo se realizó un diagnóstico de las prácticas y elementos que poseían los caficultores antes de adquirir la certificación, y que posteriormente sirvieron como patrón comparativo, para el cumplimiento de la misma.

Aspectos mejorados gracias al proceso de certificación. Al respecto se indagó mediante la entrevista con el productor, por los beneficios sociales, ambientales y económicos generados por la adopción de la NAS de *Rainforest Alliance*, procediendo a registrar y procesar los resultados correspondientes.

Calificación integral de los caficultores a la adopción de la NAS. La calificación registrada asocia las condiciones actuales de sostenibilidad de las fincas cafeteras certificadas y la percepción que tienen los caficultores sobre el impacto causado en

los procesos asociados a la producción de café. Para ello se evaluó, de manera general, la adopción de la certificación de acuerdo con la mejora en las condiciones sociales, ambientales, económicas y la visión global de estas tres dimensiones. La evaluación se estableció mediante una escala de Licker, considerando rangos de calificación de 0 a 5, con las siguientes calificaciones: Entre 0 y 1, se relacionan las peores respuestas (desmejora considerable), y en el otro extremo, calificaciones entre 4 y 5, reflejan las respuestas más favorables (considerable mejora). En la Tabla 1, se detalla la escala y descripción de la cuantificación.

Tabla 1. Escala y descripción propuesta para la calificación de la percepción.

Escala de calificación	Descripción
Entre 0 y 1	Desmejoró considerablemente
Entre 1 y 2	Desmejoró
Entre 2 y 3	No mejoró
Entre 3 y 4	Mejóro algo
Entre 4 y 5	Mejóro considerablemente

Disposición a pagar (DAP). Para complementar la percepción del caficultor con relación al sello RA y como una aproximación a una valoración económica ambiental de la certificación, se realizó la aplicación del método de valoración contingente, que consistió en una pregunta sobre la disposición a pagar por parte de los caficultores certificados, para conservar o mantener el sello RA, consultándoles si estaban dispuestos a destinar un recurso monetario determinado para mantener el sello de la finca, y en caso de ser afirmativa la respuesta, se les preguntó el monto anual de la disposición a pagar por el mismo. El valor total entregado se relacionó con el número de hectáreas del predio, para

así obtener un valor indicativo unitario, expresado en pesos por hectárea por año.

La disposición a pagar (DAP) refleja las preferencias individuales por un determinado bien o servicio, constituyéndose en un método directo de valoración económica del bien o servicio, siendo un método muy aplicable en estudios de valoración de recursos naturales o ambientales, que no tienen formación de precios de mercado; tal cuantificación se constituye en un indicador monetario que refleja las preferencias de los individuos. Cabe aclarar que la valoración no es al medio ambiente o la vida en sí, sino a las preferencias de las personas por cambios en el estado del medio ambiente o por cambio en los niveles de riesgo para sus vidas, o las de otros seres humanos (12).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización social de los caficultores.

El 17% de los caficultores encuestados de Cundinamarca son del género femenino; en Santander el 25% pertenece al mismo género relacionado. Lo anterior refleja la representatividad de la mujer cafetera, quien paulatinamente ha demostrado ser fuente dinamizadora del relevo generacional; ella se constituye en el centro de la unión familiar, ya que fortalece el arraigo de sus hijos e hijas a la tierra y concentra mano de obra, al mejorar las condiciones de trabajo de la población recolectora en época de cosecha. De igual modo, participa en los procesos para la certificación, en aras de garantizar la sostenibilidad de la calidad del café y un mayor ingreso a la familia cafetera (17).

El promedio de la edad de los caficultores de Cundinamarca fue de 46,7 años, con rangos que oscilaron entre los 21 y 82 años; en Santander el promedio de edad del

productor fue de 50,1 años, con rangos entre los 24 y 76 años. El 24% del total de los caficultores evaluados realizaron estudios de primaria incompleta, 35% primaria completa, 25% secundaria incompleta, 10% secundaria completa, finalmente el 6% realizaron estudios profesionales.

En cuanto a la tenencia de la tierra, en Cundinamarca el 92% de los caficultores tienen el dominio de los predios, es decir, son los propietarios legales, mientras que el 8% restante tiene otro tipo de tenencia de la tierra, sobresaliendo la posesión, cuya figura es aquella donde no se tiene el dominio, pero sí el ánimo de señor y dueño, o la figura de sucesión, en la que están en proceso de definición de derechos herenciales. Para el caso de los caficultores de Santander el 100% son propietarios. El promedio del número de integrantes por familia es de 4,1 personas en Cundinamarca y de 6,5 personas en Santander.

Percepción previa a la certificación. De acuerdo con una consulta realizada a los caficultores sobre algunas prácticas realizadas antes de estar certificados, se obtuvo el siguiente diagnóstico:

Con relación a las prácticas que se realizaron en las fincas antes del proceso de certificación, más del 97% de los productores expresaron, que ya se brindaban buenas condiciones laborales a los trabajadores en aspectos como pago y trato justo (Tabla 2). Para garantizar tales condiciones, en el 69% de los predios de Cundinamarca y el 81% en Santander, se ofrecían buenas condiciones de orden y aseo, en el alojamiento y las áreas comunes, además de los lugares de beneficio del café.

Otra variable relacionada con la aplicación de la Norma de Agricultura Sostenible

(NAS), es la contratación de menores de edad. Al respecto, los caficultores afirmaron que existe un considerable grupo de niños, niñas y adolescentes que ejecutan algunas labores agrícolas y a su vez estudian. En Cundinamarca, el 31% de las fincas contrataban de manera temporal, respetando el horario escolar, a menores de edad; en Santander lo hacía el 22%. Lo anterior sugiere, bajo ciertas condiciones laborales y otras asociadas al sistema educativo y a las necesidades del individuo, que el trabajo infantil no es el factor principal que conlleva a la deserción estudiantil (8). Al respecto es importante señalar que en Colombia los índices de empleo infantil a nivel rural han disminuido paulatinamente; mientras que en el año 2005 fue del 22,5% (3), en el año 2008 fue de 10,9% (18); lo anterior refleja la consideración y conciencia de parte de los productores agropecuarios sobre restricción del empleo de niños y jóvenes escolares en las faenas agrícolas. Sin embargo, la mayoría de los caficultores concluyen que mientras persistan condiciones socioeconómicas adversas, el trabajo infantil difícilmente desaparecerá.

Sobre las condiciones de los sistemas de producción cafeteros a nivel de finca, se reporta para el año 2005, que el proceso de certificación de las fincas de Cundinamarca contaba con un plan para la implementación de sombrero del 75%, mientras que en Santander el 100% de la caficultura es bajo sombra, región que ha mantenido tal sistema desde años anteriores a la certificación (Tabla 2); en tales casos, el sombrero y el cultivo de café son considerados como un sistema agroforestal, el cual es una forma de uso de la tierra, donde especies leñosas perennes interactúan biológicamente en un área con cultivos y animales; el propósito fundamental es diversificar y optimizar la producción respetando el principio de la sostenibilidad (20).

En el tratamiento de aguas residuales, antes del año 2006, el 39% de caficultores de Cundinamarca y el 31% de Santander, realizaban tratamiento de aguas residuales. A partir del año 2006 en la caficultura certificada y, en general, en los sistemas de producción cafetera, se redujo el consumo de agua en la finca, y se previno la contaminación de fuentes hídricas, promoviendo la conservación de los ríos y otras fuentes de recurso hídrico. Todas las fuentes de contaminación, actuales o potenciales, evidencian un manejo sostenible enfocado a prevenir el deterioro de las fuentes de agua, controlando los vertimientos de sustancias contaminantes a las fuentes hídricas. Además, existen zonas de amortiguación de vegetación nativa, adyacentes a todas las fuentes de agua, y adicionalmente, el volumen de agua utilizado en las fincas en el procesamiento húmedo del café se reduce al mínimo posible, mediante el tratamiento y la aplicación de tecnologías apropiadas que favorecen su reutilización. Se constata a su vez, que en las regiones evaluadas no se ha alterado el curso o la hidrología de los arroyos ni de otras aguas superficiales.

Se destacan las prácticas de conservación de suelos en el cultivo de café, las cuales controlan la erosión y protegen la composición y fertilidad del suelo. En las zonas cafeteras evaluadas se registra el manejo de prácticas enfocadas hacia la recuperación de la fertilidad, el contenido de materia orgánica y la actividad biológica del suelo. Una parte importante de los nutrientes del suelo la suministran fuentes de la finca, mediante fertilizantes orgánicos, coberturas para los cultivos y aplicación de materia orgánica. En los terrenos pendientes o especialmente en las áreas adyacentes a los cursos de agua y los humedales se toman medidas apropiadas para controlar la erosión y mejorar la calidad del suelo. Se desarrollan sistemas de coberturas vegetales y se establecen prácticas culturales para el

control de arvenses, como el manejo integrado (11). Antes de iniciar el proceso de adopción de la NAS, sólo el 8% de los productores de Santander afirmó que conocía o realizaba prácticas de conservación de suelos (Tabla 2); los demás caficultores consultados sobre la ejecución de tales prácticas afirmaron desconocerlas, constatando que de manera empírica e inesperada, sí las ejecutaban en sus fincas.

Del mismo modo, el programa de manejo de residuos sólidos se realiza para minimizar los impactos ambientales negativos mediante la aplicación de los principios de reducción, reutilización y reciclaje, utilizando los residuos orgánicos como fuente de enriquecimiento para los suelos; continuamente se toman medidas para reducir la cantidad total de desechos producidos en la finca y los desechos orgánicos se reutilizan como fuentes de materia orgánica para los suelos mediante los sistemas de compostaje. Se registró que todo subproducto o desecho orgánico, sea de origen agrícola o doméstico, incluida la pulpa del café y la hojarasca, es transformado en abono y reutilizado en el sistema de producción cafetera. Respecto a los residuos inorgánicos, se fomenta el reciclaje de los residuos aprovechables, mientras que con aquellos no aprovechables, incluidos los químicos y otros materiales tóxicos, se propicia el manejo especial para su disposición final adecuada (11).

La prohibición o restricción en el uso de agroquímicos en los sistemas de producción cafetera certificados, procura reducir la utilización de pesticidas químicos, fungicidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos. Las fincas buscan y demuestran reducciones importantes en la cantidad de agroquímicos aplicados. Se emplean técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades. Existen programas para ayudar a aplicar controles preventivos

sin químicos. Los agroquímicos sintéticos se utilizan dentro del concepto de manejo integrado. En la finca no se almacenan ni se utilizan agroquímicos prohibidos para el uso agrícola en el país. Se aplican medidas eficaces para garantizar la salud y seguridad de las personas que manejan o están expuestos a agroquímicos, a biopreparados, a caldos microbiales y a abonos orgánicos, incluidos la educación, la ropa de protección para los trabajadores y el acceso a tratamiento médico adecuado. Todos los insumos de la finca se aplican en forma selectiva, con el fin de minimizar la desviación a los terrenos aledaños y la contaminación de la escorrentía y de las aguas subterráneas (11).

El costo que implica cumplir con los programas para obtener una certificación, depende de los cambios que el productor

tenga que hacer dentro de su finca; para tal fin se parte de un diagnóstico previo de los materiales e insumos presentes en el predio. En el diagnóstico de la presente investigación, se reportaron los siguientes resultados: antes de certificarse, el 25% de los caficultores de Cundinamarca y el 14% Santander, llevaba los registros contables y de actividades realizadas en la finca; en cuanto al equipo de protección para trabajadores que aplicaban y manipulan agroquímicos, solamente lo usaban en el 25% de las fincas de Cundinamarca y en el 14% de las fincas de Santander. De los caficultores de Cundinamarca, el 19% y 8%, respectivamente cuentan con el botiquín de primeros auxilios y el extintor de incendios; mientras que en Santander los valores fueron del 14% y 6%, respectivamente para cada equipo. En la Tabla 2 se relacionan los porcentajes de las fincas donde ejecutaban

Tabla 2. Diagnóstico de prácticas previas a la certificación en fincas cafeteras de los departamentos de Cundinamarca y Santander, Colombia.

Buenas prácticas	Relación porcentual de fincas que cumplían la práctica*	
	Cundinamarca	Santander
Buenas condiciones laborales a trabajadores (Incluye pago y trato justo)	100 %	97 %
Tratamiento de aguas residuales	39 %	31 %
Establecimiento de sombrío	75 %	100 %
Prácticas de conservación de suelos	0 %	8 %
Orden y aseo en la finca	69 %	81 %
No contrata menores de edad	31 %	22 %
No caza animales silvestres	92 %	75 %
No tala bosques	92 %	97 %
Registro de actividades	25 %	14 %
Uso equipos de protección aplicación agroquímicos	17 %	8 %
Programa manejo basuras	25 %	17 %
Conocimiento primeros auxilios	31 %	25 %
Disponibilidad de botiquín	19 %	14 %
Disponibilidad de extintor	8 %	6 %
No usa agroquímicos prohibidos	66 %	69 %

* Previo a la certificación *Rainforest Alliance*.

otras actividades como la realización de caza de animales silvestres, tala de bosques y uso de agroquímicos prohibidos, entre otros.

Percepción posterior a la certificación *Rainforest Alliance*

De acuerdo con lo planteado por RA, la certificación de fincas significa: reducir la contaminación de aguas, disminuir la producción de residuos y la erosión de suelos, reducir amenazas al ambiente y a la salud humana, proteger la vida silvestre, eficiencia de la finca, mejorar las condiciones laborales de los trabajadores de la finca, la competitividad y la rentabilidad para los caficultores y el reconocimiento del agricultor por la comunidad (22); algunos de los anteriores aspectos se analizan a continuación según las opiniones y consideraciones registradas por los caficultores.

El mejoramiento de la calidad de vida comienza su ejercicio en la propia casa mediante la organización de la finca y la vivienda, y la consolidación de las normas de certificación establecidas fortalece tal actividad. Se considera que el proceso de empoderamiento y apropiación de las buenas prácticas exigidas por la certificación es lento y progresivo. Al respecto, las condiciones de vida en el 81% y 94% de las fincas en Cundinamarca y Santander, respectivamente, han mejorado gracias a la implementación de la certificación. Ahora, los caficultores consideran que “los procesos de certificación demandan esfuerzos de carácter organizacional en la finca, y procesos de participación de parte de los productores e instituciones vinculadas, cuyos beneficios obtenidos van más allá de lo económico, y permean escalas de lo social y lo ambiental”.

En relación con el mejoramiento de la condición de los trabajadores de la

fincas, se determinó según criterio de los caficultores, el logro de ofrecer salarios justos, y adicionalmente, disponer para los trabajadores de un hábitat digno, facilidades sanitarias y un área de trabajo segura y saludable. Los trabajadores y sus familias tienen acceso a escuelas, sistemas de salud, transporte y capacitación. Además de las anteriores condiciones, el 56% de los productores sostiene que los trabajadores prefieren las fincas certificadas porque tienen trato justo y buenas condiciones laborales; el restante 44% manifiesta que es indiferente trabajar en una finca certificada que en una no certificada. En Santander, el 78% de los caficultores opinó que los trabajadores prefieren las fincas certificadas, frente al restante 22% que indicó que no hay diferencia entre las preferencias por dicha condición, porque el principal criterio de selección laboral de la finca es que ofrezca mayor remuneración o salario al trabajo.

Valorización de la finca. La tierra es un factor que incide en las relaciones sociales, políticas y económicas que se dan dentro una región o un país, tanto por su existencia material, su valor como bien productivo y bien patrimonial, como por su influencia social inspiradora de cosmovisiones y sentimientos que trascienden muchos espacios de la vida social. Lo anterior representa un factor complejo, capaz de incidir en el desarrollo de una sociedad, que bien administrada, contribuye al crecimiento económico, a generar empleo, a resolver problemas de pobreza y a garantizar la seguridad alimentaria de su población (6). El valor por hectárea de las fincas se incrementó en las dos zonas de estudio, entre los años 2006 y 2009, según la apreciación de los caficultores y lo explican mediante factores relacionados con la ubicación de la finca frente a la zona urbana y sitios turísticos cercanos, al manejo tecnificado del cultivo del café, a

la disponibilidad de fuentes de agua y la diversificación del predio. Sin embargo, sólo un 3% de los caficultores, en cada uno de los departamentos evaluados, manifestaron que la finca se valorizó una vez se obtuvo la certificación *Rainforest Alliance*; la opinión del resto de caficultores encuestados determina la valorización por factores diferentes a la certificación.

Manejo eficiente de la finca. La aplicación del programa de certificación ha contribuido a los agricultores a organizar, planear, programar mejoras, adoptar buenas prácticas, identificar problemas y monitorear avances bajo la técnica de la mejora continua. De igual modo, en todas las fincas se ha logrado desarrollar un sistema de gestión empresarial con el registro de datos que proveen información, que ha garantizado la trazabilidad del proceso de certificación. En la actualidad es claro que la integración de modelos o sistemas de registro de información en las fincas se constituye en un cuello de botella para los caficultores, puesto que la gran mayoría de ellos no tiene la capacitación necesaria para alcanzar estos propósitos; sin embargo, la integración de las mujeres y jóvenes estudiantes a los procesos administrativos y de producción de la finca ha permitido un avance importante en tales aspectos, favoreciendo el desarrollo del predio. Sobre la participación de las mujeres en el manejo de las fincas, algunos antecedentes consultados determinan que las mujeres en las sociedades rurales de Latinoamérica y el Caribe contribuyen en un rango del 35% al 50% en tareas agrícolas y realizan cultivos domésticos, procesamiento, industrialización y mercadeo (4).

Sanciones ambientales y reducción de la contaminación hídrica. Se estableció que las fuentes de contaminación de aguas se encuentran bajo control, atribuyéndolas a factores como pesticidas y fertilizantes,

sedimentos, aguas de desecho, basuras y combustibles, entre otros. Se determinó que los caficultores han evitado sanciones y multas ambientales por parte de las entidades que en Colombia regulan estas prácticas. En Cundinamarca, el 89% de los caficultores percibió que la certificación le ha evitado estas multas y sanciones, frente al 11% que no lo consideró de esa manera, mientras que en Santander el 100% de los caficultores opinó que la certificación les ha evitado problemas legales de tipo ambiental.

Los caficultores atribuyen la instalación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales a la reducción de la contaminación, siendo los métodos visuales los más comunes en la verificación de la descontaminación. En algunos casos han realizado valoraciones de la calidad del agua de las fuentes existentes en las fincas, mediante análisis DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno); otro factor que aporta al cuidado de fuentes hídricas es la aplicación de las NAS. En otros aspectos de consideración respecto a evitar sanciones o multas, y perjuicios de todo orden, se destaca la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA), vinculadas a la disminución de la aplicación de agroquímicos en el control de plagas y enfermedades, al control de la erosión y a los estándares en el manejo poscosecha del café. Estudios realizados por Cenicafé (2) determinaron que el 90% de los caficultores consideran que podrían emprender acciones de conservación de la biodiversidad en un futuro, y que las mismas estarían encaminadas a mantener y conservar las áreas naturales de sus fincas, registrar un menor uso de agroquímicos y promover la reforestación.

Protección hábitat silvestre. La certificación determina la protección al hábitat natural, controlando al máximo la deforestación; se

protegen las orillas de los ríos mediante zonas de amortiguamiento, se conservan los ecosistemas críticos como los humedales y se preservan los relictos de bosques existentes en las fincas. Los sistemas de producción cafetera en el país, mantienen y realzan la diversidad biológica y las funciones de los ecosistemas en las fincas y áreas adyacentes. De esta manera, el café está asociado a los procesos de implementación de corredores de conservación, en los cuales, las áreas de café bajo sombrío y los bosques aledaños sirven para establecer conectividad y facilitan intercambios de vida silvestre entre fragmentos de bosque, áreas protegidas y sistemas hidrográficos estratégicos.

En un estudio sobre la evaluación de censos participativos de aves, en el conocimiento, actitudes y comportamiento de los caficultores frente a la conservación en zonas cafeteras de Colombia (16), se determinó que en general, todos los caficultores entrevistados tuvieron actitudes positivas hacia la avifauna. El 96% de los entrevistados estuvo de acuerdo con que las aves proveen beneficios para sus fincas y el 87% consideró que tener un negocio cafetero no es incompatible con la conservación de las aves. Para el presente trabajo, en ambos departamentos, el 100% de los caficultores consideraron que la certificación les mejoró notablemente la conciencia ambiental hacia la protección de los recursos naturales.

Otra percepción de los caficultores es que la certificación conllevó a un aumento en la preservación y conservación de las áreas o ecosistemas naturales; lo anterior, lo confirmó el 64% de los caficultores de Cundinamarca, el restante 36% presentó dos escenarios: conservaron las mismas áreas, o sencillamente no tenían áreas de conservación específicas. En Santander el 100% de las fincas realizaron prácticas de conservación y

se presentó una mejor conciencia ambiental, gracias a la adopción de la NAS. Según respuestas de caficultores presentadas por Cenicafé (2), existe conciencia sobre los impactos negativos que generan algunas prácticas agrícolas en el medio ambiente, pero también hay conciencia de la necesidad de minimizarlos y que la principal motivación para conservar los fragmentos de bosque, son las fuentes de agua. Las respuestas sobre las áreas de recuperación más comunes en fincas certificadas, que se presentaron en los departamentos de Cundinamarca y Santander fueron: siembra de árboles en bosques y orillas, linderos de los lotes de café, ampliación de la frontera de los bosques, mantenimiento y renovación del sombrío, permanencia de los bosques que existen en la finca, buscando su preservación y conservación.

Incremento de la rentabilidad y competitividad para los productos. Se determinó que la certificación ha contribuido a mejorar la calidad del producto, reducir las quejas de los trabajadores e incrementar la eficiencia técnica (productividad) y financiera. El sello de aprobación *Rainforest Alliance Certified* les brindó a los agricultores mejor exposición en el momento de la venta, diferenciación del producto, precios *Premium* y acceso mejorado al crédito. Dentro de las políticas de comercialización de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia está la garantía de compra de café al caficultor, lo que fue ratificado por los caficultores que opinaron que sólo por el hecho de ser cafeteros tienen garantizada la compra de su café; la certificación es un valor adicional y un incentivo para el desarrollo de prácticas sostenibles en sus fincas. Además, se reconoce que el café es el único producto agrícola que tiene su compra asegurada en el mercado interno y además, que su precio está sujeto a las condiciones de mercado y de calidad del producto. Sumado a lo anterior, el ingreso

de otros cafés diferenciados como *Fairtrade* o Comercio Justo, UTZ y Orgánico a la cadena de comercialización, han permitido obtener precios más elevados que los cafés convencionales.

Otro aspecto destacado por los productores de café es la presencia en sus regiones de las asociaciones de productores o Cooperativas de Caficultores, ya que según ellos, este tipo de entidades regulan la compra del producto, en comparación con los compradores particulares. Los sistemas de producción cafetera y comercialización deben mejorar los medios de vida sociales y económicos de los productores y ofrecerles beneficios económicos a las comunidades locales. Para ello, la Federación tiene la responsabilidad de liderar iniciativas de comercialización que beneficien al cafetero, constituyéndose en una referencia obligada para el mercado (10).

Reconocimiento de los caficultores por parte de la comunidad. Debido a que los productores son los que determinan el uso de la tierra y las áreas de conservación dentro de sus fincas, la participación e inclusión son esenciales en cualquier estrategia de conservación local o regional. La imagen de los caficultores certificados ha mejorado gracias a los procesos que adelantan para el manejo sostenible de los recursos naturales, ejemplo que se ha replicado en otras fincas cafeteras no certificadas de la zona de estudio, donde existen grupos de cafeteros certificados por *Rainforest Alliance*. La certificación en Colombia se adquiere a nivel de grupos de fincas, que cuentan con un administrador que para el caso es la Federación Nacional de Cafeteros, a través de su dependencia de Cafés Especiales. Un municipio o localidad puede estar integrado por fincas certificadas ubicadas en diferentes zonas, lo que se constituye en una forma de dar a conocer los procesos adelantados de conservación y

protección de recursos, motivación que ha llevado a vincular cada día un número más grande de fincas a procesos de certificación. Muestra de ello es el caso de las dos regiones bajo evaluación en el presente estudio, en las cuales se pasó en el año 2006 de 720 productores certificados, a 1.365 en el año 2009 (9).

Calificación de los caficultores a la adopción de la NAS. Los caficultores estimaron la aplicación de la NAS, según los beneficios percibidos dentro del proceso de adopción, y en la escala propuesta para el estudio, observando una alta coincidencia entre los registros de la encuesta en las dos regiones evaluadas. En la Figura 1, con escalas de 0 a 5, se observa que la certificación califica en alto grado el manejo y resultado de los aspectos ambientales (promedio de 4,8) y los aspectos sociales (promedio 4,8); en relación con la situación económica los caficultores consideraron que les mejoró algo su condición original, este fenómeno se presentó en ambos departamentos (promedio de 3,7). Adicionalmente, se evaluó la imagen de los caficultores certificados frente a los vecinos o comunidad alterna, con un promedio de la calificación de 4,6 y el trato justo a los trabajadores obtuvo un calificación promedio de 4,7, lo que indica que para todos los atributos relacionados la certificación mejoró los resultados.

De acuerdo con los anteriores resultados, se considera que los beneficios de la certificación RA se relacionan más con la comodidad y satisfacción del productor que con el aumento significativo de rendimientos en el sistema de producción de café, es decir, que los productores campesinos maximizan la satisfacción de sus necesidades personales y familiares, antes que la utilidad monetaria, influidos en la misma manera por valores y recompensas sociales (19).

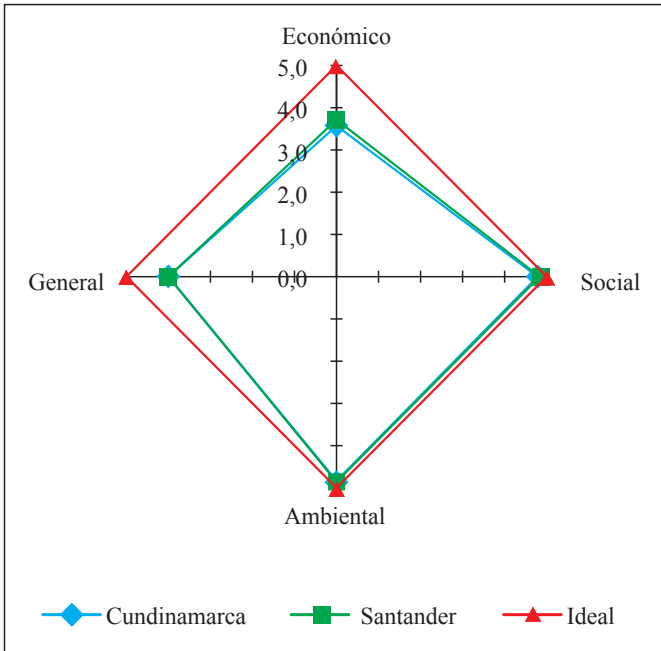


Figura 1. Redegrama para la percepción de los caficultores de Cundinamarca y Santander sobre la certificación *Rainforest Alliance*.

Se considera que la calificación más baja entregada al factor de compensación económica con relación a los demás aspectos, puede asociarse mediante los presentes resultados, al hecho de que los sobrepagos pagados al café certificado RA han venido disminuyendo, al pasar en el año 2007 el pago del kilogramo de \$ 618 en promedio, a valores entre los \$ 200 y \$ 240 por kilogramo de café pergamino en el año 2009 (10). Integrado a lo anterior, el café bajo la denominación de Comercio Justo, siempre aparece en el mercado con la prima mejor pagada frente a otros tipos de café diferenciados (14). Este factor y otros más, han motivado a que varios caficultores renuncien al proceso de certificación, reportándose para este estudio la desvinculación de cuatro caficultores en Cundinamarca y el mismo número en Santander. Cabe aclarar que las certificaciones ambientales como RA no fijan *per se* sobrepagos a sus productos certificados.

Disposición a pagar para mantener el sello RA

La valoración monetaria de la biodiversidad tiene limitaciones, y son necesarios muchos supuestos que la hacen criticable en los casos en que se intenta estimar en términos monetarios. La tentación de poner precio para que el mercado dirija la gestión, es un riesgo que hay que tener presente. Desde una perspectiva ecológica, la conservación de la biodiversidad debe responder a criterios morales y de valores ambientales más que a consideraciones de eficiencia económica (12).

En Santander los caficultores respondieron afirmativamente a la disposición a pagar (DAP) en el 63,9% de los casos, y en Cundinamarca lo hizo el 44,4%; los restantes 36,1% y 55,6% en cada región, respectivamente, indicaron no tener DAP para conservar la certificación RA. En el consolidado de las dos regiones, del

total de caficultores (72), el 54,2% respondió positivamente y el 45,8% negativamente. Entre los caficultores con disposición a pagar un valor económico, manifestaron cuantías con amplia variabilidad, con un valor promedio del total de caficultores de \$ 50.372 por hectárea por año; para Cundinamarca y Santander estos valores promedio fueron \$ 64.470 y \$ 40.565 ha.año⁻¹, respectivamente.

Otros resultados descriptivos relacionados con estadísticas sobre las cuantías económicas registradas, se presentan en la Tabla 3. Un estudio realizado en el año 2009 (23), evaluó la disposición de invertir un valor monetario para evitar o controlar la erosión en el suelo, encontrando que el 58,8% estaban dispuestos a invertir, con valores mínimos de \$ 11.933 y máximos de \$4.000.000. Lo anterior indica que un porcentaje considerable de los caficultores colombianos están dispuestos a sacrificar recursos financieros en pro del cuidado y conservación de los recursos naturales, con cuantías de dinero representativas del ingreso que ellos reciben por las ventas de café.

Mediante los resultados anteriores, se extraen algunas conclusiones, expuestas seguidamente:

Se considera que antes de iniciar cualquier proceso de adopción de normas

de certificación es indispensable evaluar en contexto, los saberes y recursos que manejan los caficultores; de tal manera, se podrá determinar la factibilidad de llevar a cabo, el tipo de cambios demandados por la certificación. En este sentido se fundamenta la importancia de tener en cuenta la opinión generada por los caficultores y grupos focales de la comunidad, como primeros actores de la cadena de valor del café sostenible.

Las expectativas o requerimientos cumplidos gracias a la adopción de la certificación en temas ambientales, sociales y comunitarios, mejoró considerablemente según la percepción expresada por los caficultores; el aspecto económico tuvo una menor calificación porque el precio es determinado por la calidad del producto, y en segundo plano por tener o no certificación, además por las condiciones del mercado internacional y la tasa de cambio, específicamente considerando lo sucedido en el año 2009, cuando el sobreprecio reconocido al sello no fue considerado retributivo por parte del caficultor.

En un proceso de certificación como *Rainforest Alliance* se identifican claramente dos grandes componentes: uno es el filosófico – normativo que busca el cumplimiento de principios y que hacen atractivo el proceso

Tabla 3. Respuestas (Sí/No) y montos monetarios sobre la disposición a pagar (DAP) expresada por los caficultores de los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Detalle	Cundinamarca	Santander	Total
Número de fincas evaluadas	36	36	72
DAP Sí (Número)	16	23	39
DAP Sí (%)	44,4%	63,9%	54,2%
DAP No (Número)	20	13	33
DAP No (%)	55,6%	36,1%	45,8%
DAP Límite inferior (\$ ha.año ⁻¹)	4.167	1.333	1.333
DAP Límite superior (\$ ha.año ⁻¹)	200.000	263.158	263.158

por el aprendizaje y los cambios, y el otro es el sistema de certificación que es el que asegura el cumplimiento (auditoría externa), controla (auditoría interna), sanciona y otorga el sello. Ambos componentes tienen un costo, pero el segundo solamente se justifica si existe una opción comercial. Si no existe mercado – clientes y, por ende, un reconocimiento al proceso o por tener un sello, lo mejor es tomar la esencia de estos estándares y dejar de lado el sistema de certificación por lo costoso, rígido y a veces traumático.

De forma clara se evidenció que la certificación RA para la caficultura de Colombia es un complemento a los procesos que se han desarrollado por parte de la Federación Nacional de Cafeteros y los caficultores, en la mira del desarrollo del sector y el reconocimiento de la institucionalidad cafetera, mediante factores como la organización de las unidades de producción, la garantía de compra del producto y el cuidado del sistema ambiental, evidenciado en la conservación de la biodiversidad y la reducción de la contaminación por subproductos derivados de la producción de café.

La adopción de la NAS de *Rainforest Alliance* generó, según la percepción de los caficultores de ambos departamentos, beneficios sociales y ambientales, y en menor escala económicos, entre los beneficios que resaltan: el cumplimiento de la normatividad ambiental, lo que les evita sanciones y multas, valorización de la finca, manejo eficiente de la finca, mejoramiento de las condiciones de los trabajadores, incremento en la rentabilidad y competitividad de los productos, reconocimiento de los caficultores por parte de la comunidad, reducción en la contaminación de las fuentes hídricas, protección de hábitat y, en general, un mejor desempeño ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A los caficultores de Santander y Cundinamarca, a *Rainforest Alliance* por la cofinanciación del estudio, a Cenicafé, a los doctores Claudia López y Henry Parra coordinadores de Cafés Especiales, a los Jefes Seccionales de los Comités de Cafeteros de Rionegro y Gualivá (Cundinamarca), y San Gil, Socorro y Barbosa (Santander); y en general, al Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

1. ARAUZ L., F. Hacia un uso racional de los plaguicidas sintéticos: Una perspectiva agroecológica. *Agronomía costarricense* 19(1):19-23. 1997.
2. BAKER P.; DUQUE, H. Guía para la caficultura sostenible en Colombia: Un trabajo articulado con los caficultores, extensionistas y la comunidad. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 312 p.
3. BERNAL, R.; CÁRDENAS, M. Determinantes del trabajo infantil en Colombia. Bogotá : USAID : Colombia productiva : Northwestern university : FEDESARROLLO, 2006.
4. BIERMAYR, P. La mujer en el CGIAR, Día internacional de la mujer 2010. Cali : CIAT, 2010.
5. BITZER, V.; FRANCKEN, M.; GLASBERGEN, P. Alianzas intersectoriales para una cadena de café sostenible: ¿Teniendo en cuenta la sostenibilidad o solamente recogiendo las cerezas del café? *Ensayos sobre economía cafetera* 22(25):123-145. 2009.
6. BOTACHE L., R.; SANTOS P., L.E. Factores que inciden en el precio de las tierras de uso agrícola en la provincia de Mares, departamento de Santander. *CIFE* 13:161-172. 2008.
7. CRUZ C., G. Economía aplicada a la valoración de impactos ambientales. Manizales : Universidad de Caldas, 2005. 208 p.
8. DANE. Análisis en profundidad y términos comparativos de los años 2001, 2003 2005 y 2007 sobre trabajo infantil. Bogotá : DANE, 2008. 395 p.

9. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Informe al congreso cafetero de los comités departamentales de Cundinamarca y Santander años 2006 y 2009. Bogotá : FEDERACAFÉ, 2009. 10 p.
10. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Misión y visión de la organización y comercialización del café colombiano. [En Línea]. Bogotá : La Federación, 2010. Disponible en internet: www.federaciondecafeteros.org.
11. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Principios y criterios de conservación para la producción cafetera en Colombia. Bogotá : FEDERACAFÉ, 2001. 71 p.
12. FIGUEROA J., R. Valoración de la biodiversidad: Perspectiva de la economía ambiental y la economía ecológica. *Interciencia* 30(2):103-107. 2005.
13. FUNDANATURA. Certificación de café: Proyecto NATURA FNCC, Casseya, un ejemplo de cómo la certificación es un proceso integral. Bogotá : FUNDANATURA : FEDERACAFÉ, 2009. 17 p.
14. GIOVANNUCCI, D.; PONTE, S. Standards as a new form of social contract?: Sustainability initiatives in the coffee industry. *Food policy* 30(2005):284-301. 2005.
15. HERNÁNDEZ S., A.M. La certificación Rainforest Alliance en Colombia. *Expo Flora* (7 : Octubre 3-5 de 2010 : Antioquia).
16. LENTIGO J., G.M. Evaluation of a participatory bird census project on knowledge, attitudes and behaviors of farmers towards conservation in coffee-growing regions of Colombia. Florida : University of Florida, 2010. 53 p.
17. OBSERVATORIO DE ASUNTOS DE GÉNERO. La voz de la mujer cafetera. Bogotá : OAG : Consejería presidencial para la equidad de género, 2008. 24 p.
18. OIT. La acción contra el trabajo infantil: Hechos sobresalientes del IPEC 2008. Ginebra : OIT : IPEC, 2009. 77 p.
19. ORTIZ, S. Reflexiones sobre el concepto de la cultura campesina y los sistemas cognoscitivos campesinos. En: SHANIN, T. Campesinos y sociedades campesinas. México : Fondo de cultura económica, 1979.
20. PALOMEQUEF, E. Sistemas agroforestales. [En línea]. Chiapas : Monografias, 2009. 29 p. Disponible en internet: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/sistemas-agroforestales/sistemas-agroforestales.pdf>. Consultado en Diciembre de 2012.
21. QUISPE J., L. Caracterización del impacto ambiental y productivo de las diferentes normas de certificación de café en Costa Rica. Costa Rica : CATIE, 2007. 137 p.
22. RAINFOREST ALLIANCE. Norma de agricultura sostenible de la RAS: Versión abril 2010. [En línea]. New York : Rainforest Alliance, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.rainforest-alliance.org>. Consultado en Septiembre de 2010.
23. SERNA G., C.A. Valoración contingente de la erosión de los suelos de la zona central cafetera de Colombia. *Cenicafé* 60(1):86-104. 2009.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, SEGÚN EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN

Gloria Inés Puerta Quintero*; Sara Ríos Arias**

RESUMEN

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

En Colombia, la mayoría de los caficultores procesan el café por fermentación y en varias fincas el mucílago se remueve mecánicamente del grano. Para determinar las degradaciones y estabilidad del mucílago de café hasta su posible uso y disposición, se cuantificaron los contenidos de agua, cenizas, lípidos, proteínas, azúcares totales, azúcares reductores, fibra, alcohol, acidez total y el aporte calórico del material fresco, fermentado a temperatura promedio de 20,5°C y conservado en refrigeración, a 6,6°C, hasta por 74 horas. El mucílago fresco presentó entre 85% a 91% de agua y entre 6,2% y 7,4% de azúcares, constituidos por 63% de azúcares reductores. El contenido de azúcares y las levaduras y bacterias del mucílago de café explican su propiedad perecedera, y la ocurrencia de su fermentación natural. Durante la fermentación a temperatura ambiente, los azúcares totales y reductores del mucílago de café disminuyeron, aumentó la acidez, se formó el etanol y se degradaron los lípidos. En refrigeración estos cambios fueron más lentos y se retrasaron las fermentaciones alcohólica y láctica, y se conservaron hasta por 24 horas las características del mucílago de café. La refrigeración se recomienda para el almacenamiento del mucílago de café hasta su utilización como sustrato de fermentación o en otros procesos agrícolas, industriales o pecuarios, también como forma de conservación del café despulpado hasta su procesamiento. Los resultados de esta investigación contribuyen al conocimiento sobre la química y la cinética de la fermentación del café.

Palabras clave: Beneficio, almacenamiento, azúcares reductores, alcohol, acidez, calorías.

ABSTRACT

In Colombia, most coffee growers process coffee by fermentation and in several farms, the mucilage is removed mechanically from the grain. In order to determine the degradation and stability of coffee mucilage until its possible use and disposal, the contents of water, ash, lipids, proteins, total sugars, reducing sugars, fiber, alcohol, total acidity and caloric intake of the fresh material, fermented at an average temperature of 20.5°C and stored under refrigeration at 6.6°C for up to 74 hours were quantified. The raw mucilage showed between 85% and 91% of water and between 6.2% and 7.4% of sugars, which consisted of 63% of reducing sugars. The content of sugars, as well as the yeasts and bacteria from coffee mucilage, explain their perishable property and the occurrence of its natural fermentation. During fermentation at room temperature, the total and reducing coffee mucilage sugars dropped, the acidity increased, ethanol was formed, and the lipids were degraded. These changes were slower under refrigeration conditions, alcoholic and lactic fermentations were also delayed, and coffee mucilage features were preserved up to 24 hours. Refrigeration is recommended for storing coffee mucilage until it is used as fermentation substrate or in other agricultural, industrial or livestock processes, it is also a way of preserving pulped coffee until it is processed. The results of this research contribute to knowledge about the chemistry and kinetics of coffee fermentation.

Keywords: Processing, storage, reducing sugars, alcohol, acidity, calories.

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

** Tecnóloga Química. Auxiliar IV de Investigación (hasta 1999). Disciplina de Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

En los países cafeteros se han usado diversos métodos, prácticas y condiciones de beneficio para retirar el mucílago del grano de café. En Colombia, el café se procesa en las fincas por el método húmedo, y la mayoría de los caficultores usan el proceso de fermentación con el fin de separar el mucílago de los granos, para lo cual dejan los granos despulpados sin agua, en tanques abiertos, otros adicionan agua o dejan los granos inmersos en agua durante varias horas después de la fermentación. Además, en algunas fincas grandes, se usa el desmucilagador mecánico para remover el mucílago de café, y así se obtiene un residuo en menor tiempo, comparado con la fermentación, pero que es necesario disponer o utilizar de forma adecuada, para evitar su vertimiento directo a las fuentes de agua.

El mucílago y las mieles fermentadas de café se generan en forma discontinua, en cantidades que dependen de la producción de café, en cada época y zona cafetera colombiana. Así mismo, las cantidades de mucílago en los frutos y granos de café varían con la madurez del fruto, es así como los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y los granos despulpados un 18,8%. En consecuencia, por cada tonelada de café cereza que se procese en la finca pueden obtenerse entre 80 y 140 kilogramos de mucílago, según la madurez y la cantidad de agua usada en el desmucilagado mecánico.

Las fermentaciones son procesos bioquímicos realizados por levaduras, bacterias y enzimas, que degradan principalmente los azúcares de los sustratos (24, 30, 31). El mucílago de café está compuesto esencialmente por agua, azúcares y sustancias pécticas (12, 15, 19, 20, 29) y contiene principalmente levaduras de los géneros *Saccharomyces*,

Torulopsis, *Candida* y *Rhodotorula*, así como bacterias lácticas *Lactobacillus* y *Streptococcus*, y otras bacterias y hongos (3, 8, 21, 22, 26). El recuento y tipos de microorganismos en la fermentación del café dependen de los contenidos en la cereza y mucílago y de las condiciones ambientales, como la temperatura y gases, entre otros (24, 25, 31).

Por su composición microbiana y química, el mucílago se fermenta en forma natural en las condiciones ambientales de las zonas cafeteras que presentan temperaturas que pueden variar entre el día y la noche de 12 a 34°C. La velocidad de estas degradaciones depende del sistema de fermentación y la temperatura externa también influye en el desarrollo y metabolismo de los microorganismos.

La refrigeración, la congelación y el enfriamiento se usan precisamente como métodos para conservar las características de los alimentos y productos durante el almacenamiento. La refrigeración consiste en mantener los productos a temperaturas bajas, en general de 1 a 8°C, este método permite retrasar la velocidad de degradación, inhibe el crecimiento de los microorganismos termófilos y de algunos mesófilos, y así, disminuye la actividad de las enzimas de los microorganismos presentes en el sustrato.

Se han desarrollado varios estudios sobre los posibles usos del mucílago de café como materia prima en la producción de etanol, pectinas, alimentación animal, entre otros (1, 2, 3, 9, 10, 12, 13, 16, 27, 28), y también se encuentran algunas publicaciones sobre la composición química de este subproducto (3, 12, 13, 15, 19, 20).

Para determinar las degradaciones y estabilidad de este residuo hasta su posible uso y disposición, se cuantificaron los contenidos

de agua, cenizas, lípidos, proteínas, azúcares totales y reductores, fibra, alcohol, acidez total y el aporte calórico del mucílago de café fresco, fermentado a temperatura promedio de 20,5°C y conservado en refrigeración a 6,6°C, por tiempos sucesivos de hasta 74 horas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El experimento se realizó en los laboratorios de Cenicafé, Manizales (Caldas), localizados a 5° 00' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste y 1.310 m de altitud, con un promedio de temperatura 20,7°C, temperatura máxima de 27,4°C, temperatura mínima de 16,5°C y humedad relativa del 78%.

Origen del café. Se procesaron muestras de *Coffea arabica* L. variedad Colombia de fruto rojo. El café fue cultivado en fincas ubicadas en Chinchiná y en lotes experimentales de la Estación Central Naranjal localizada en Chinchiná, a 04° 58' latitud Norte, 75° 39' longitud Oeste, 1.381 m de altitud, donde se presentan las siguientes condiciones climáticas: temperatura 21,3°C, humedad relativa 78%, precipitación anual de 2.634 mm, con 237 días de lluvia y 1.690 horas de brillo solar.

Beneficio del café. Para obtener la mayor cantidad de frutos de café maduros, las cerezas se recolectaron de forma selectiva, en fechas de acuerdo a las floraciones. Luego, en el beneficiadero, cada lote de café recibido se pasó por una zaranda de motor y por selección manual, para retirar frutos verdes, secos y pintones, después el café se despulpó sin agua y se pasó por una zaranda de motor para retirar pulpas y frutos sin despulpar, posteriormente se desmucilagino mecánicamente en un equipo con capacidad de carga de 600 kg/h de café cereza y un flujo de agua de 1,6 L/min.

El mucílago obtenido se fermentó en canecas plásticas, en sistemas discontinuos, 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 del 81,7% (37,0% a 98,0%), según datos climáticos de Cenicafé. La temperatura de almacenamiento en refrigeración varió entre 4,8 y 8,0°C y la humedad relativa de 51,2% a 65,0% (promedios 6,6°C y 58%, respectivamente), mediciones efectuadas con termohigrómetro.

Diseño experimental. Se evaluaron 20 tratamientos, en un diseño completamente aleatorio, con arreglo factorial, dos condiciones de temperatura, ambiente y refrigeración, por diez tiempos sucesivos de fermentación y refrigeración del mucílago de café (Tabla 1); el experimento se repitió dos veces. La unidad experimental para la fermentación fue de 50 kg de mucílago de café.

Análisis químicos del mucílago. De cada fermentador y hora de tratamiento se sacaron por duplicado 2 kg de mucílago y se batieron por porciones, en una licuadora doméstica, durante 2 min., la mezcla se pasó por un cedazo para retirar las impurezas gruesas y, luego, se tomaron muestras en las cantidades requeridas para cada análisis.

VARIABLES MEDIDAS. En el mucílago fresco, fermentado y refrigerado se midieron los contenidos de agua, cenizas, K, P, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, lípidos, nitrógeno, azúcares totales y reductores, fibra, alcohol, acidez total y el aporte calórico.

La proteína se estimó con el contenido de nitrógeno y el factor 6,25. Las calorías del mucílago se cuantificaron como la suma de las calorías suministradas por los carbohidratos, proteínas totales, lípidos y alcoholes, mediante las relaciones 4 cal/g para carbohidratos,

Tabla 1. Tratamientos y tiempos de fermentación y refrigeración del mucílago de café.

Tratamiento	Condición de temperatura	Tiempo (h)
Amb-0	Ambiente	0
Amb-4	Ambiente	4
Amb-8	Ambiente	8
Amb-20	Ambiente	20
Amb-26	Ambiente	26
Amb-31	Ambiente	31
Amb-44	Ambiente	44
Amb-52	Ambiente	52
Amb-68	Ambiente	68
Amb-74	Ambiente	74
Refri-0	Refrigeración	0
Refri-4	Refrigeración	4
Refri-8	refrigeración	8
Refri-20	refrigeración	20
Refri-26	refrigeración	26
Refri-31	refrigeración	31
Refri-44	refrigeración	44
Refri-52	refrigeración	52
Refri-68	refrigeración	68
Refri-74	refrigeración	74

4 para proteínas, 9 para lípidos y 7 para alcoholes. Los carbohidratos se estimaron como la diferencia entre 100, la humedad, las cenizas, los compuestos orgánicos y el estimado del dióxido de carbono producido en las fermentaciones del mucílago; las sustancias pécticas como la diferencia entre el contenido de carbohidratos y los azúcares totales y la fibra.

Se siguieron los métodos de la A.O.A.C. (5). Todas las metodologías se estandarizaron previamente en el laboratorio con muestras de mucílago fresco, refrigerado y fermentado. En la Tabla 2 se indican las unidades de los resultados para cada variable medida.

Análisis de resultados. Se determinaron promedio, mínimo, máximo y la desviación típica para cada variable, tiempo y condición, análisis de varianza y comparación de las medias con la prueba *t* entre las condiciones para cada tiempo, y mediante la discriminación Duncan entre los tiempos para cada condición, a un nivel de significancia del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se observan los contenidos de los compuestos químicos del mucílago de café fresco, obtenido mecánicamente con 1,6 L de agua por minuto. El mucílago fresco presentó en promedio 89,1% de agua, de

Tabla 2. Métodos de determinación de los componentes químicos del mucílago de café.

Determinación química	Unidad	Método	Cantidad de muestra	Equipo
Humedad	%, b.h.*	Desecación en estufa A.O.A.C. 925.45	5 g	Estufa
Cenizas	%, b.s. **	Calcificación a 500°C A.O.A.C. 7.009/84, 942.05/90, 900.02, 44.1.05.D	2 g	Mufla
Minerales K, P, Ca, Mg Mn, Fe, Cu, Zn	%, b.s.	Digestión ácida de cenizas Espectrometría de absorción atómica A.O.A.C. 990.08	Cenizas obtenidas de 2 g	Espectrofotómetro de absorción atómica
Lípidos	%, b.s.	Extracción con bencina A.O.A.C. 7.060/84, 920.39/90	1 g seco	Extractor de grasas Soxhlet
Nitrógeno total	%, b.h.	Kjeldahl A.O.A.C. 973.48	5 g	Digestor y titulador
Fibra cruda	%, b.s.	A.O.A.C. 7.066/84, 962.09/90	El residuo libre de grasa obtenido de 1 g seco	Fibertec
Azúcares totales	%, b.h.	Método de Lane Eynon con hidrólisis ácida. A.O.A.C. 31.034/84, 923.09	20 g	Buretas, plancha de calentamiento
Azúcares reductores	%, b.h.	Método de Lane Eynon. A.O.A.C. 31.034/84, 923.09	15 g	Buretas, plancha de calentamiento
Almidón	mg/mL	Reacción con yodo A.O.A.C. 935.24, 27	1 mL	Beaker, gotero
Acidez total	mg CaCO ₃ /L mucílago, b.h.	Reacción con yodo A.O.A.C. 935.24, 27	5 mL	Titulador
Alcoholes	%, b.h.	Oxidación con dicromato y titulación con sulfato ferroso amonio A.O.A.C.969.12	25 g	Destilador y Titulador

*b.h. base húmeda, **b.s. base seca

esta forma es un sustrato para fermentación muy húmedo al compararlo con la pulpa de café, que contiene 74,8% a 76,7% (9, 15), la caña de azúcar de 73% a 76% y las uvas 78,5%. El promedio medido del contenido de humedad del mucílago de café fue mayor que los valores reportados por Martínez (19) y por Calle (13), 84,2% y

75,0%, respectivamente; por su parte, Rolz *et al.* (29), presentan valores entre 79,9% y 93,6%, y Arias y Ruiz (3), obtuvieron valores de 87,9% y 92,2% de agua en el mucílago de café. Estas diferencias pueden deberse a la madurez del fruto y también por el agua adicionada en el procesamiento del café y en el desmucilaginado mecánico.

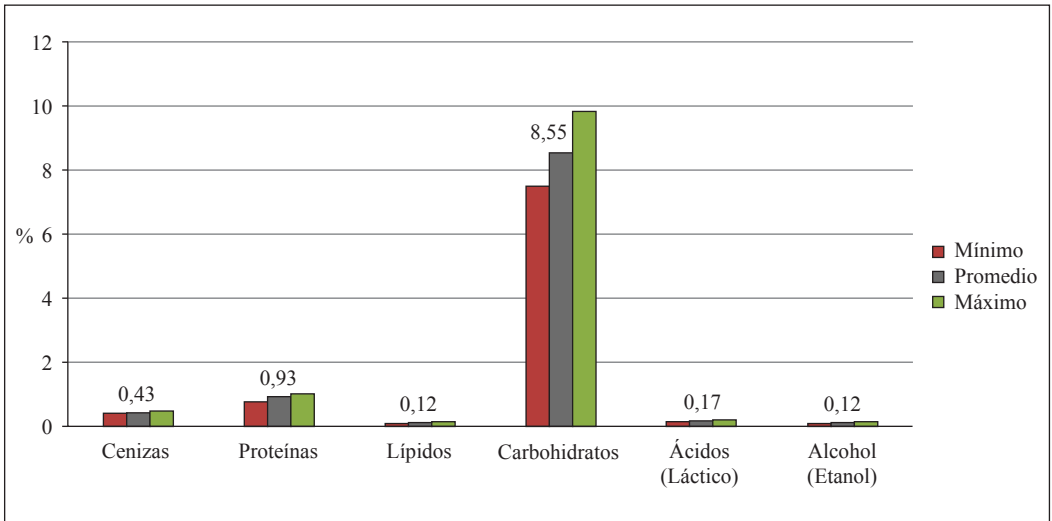


Figura 1. Composición química del mucílago de café, en base húmeda.

La materia seca representó del 9,0% al 14,9% del peso del mucílago de café fresco, conformada principalmente por carbohidratos, con un valor promedio de 81,4%, seguido de los compuestos nitrogenados con 8,7% y las cenizas con 4,04% en base seca (b.s.). La materia seca del mucílago de café disminuyó durante la fermentación, debido a las degradaciones de la materia orgánica y a la producción y emisión del dióxido de carbono.

La composición química inicial del mucílago de café fresco, procesado en condiciones ambiente y en refrigeración no presentó diferencias significativas. Por el contrario, entre la fermentación y la refrigeración se presentaron diferencias en las degradaciones de las sustancias químicas contenidas en el mucílago de café. En la Figura 2 se presenta la variación de los contenidos de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, fibra, azúcares totales y reductores del mucílago de café, durante la fermentación a temperatura ambiente promedio de 20,5°C y en refrigeración a temperatura promedio de 6,6°C, hasta por 74 horas. Igualmente, se

presentan las ecuaciones de ajuste exponencial para las degradaciones de los compuestos del mucílago de café en el tiempo.

Agua. En la condición ambiente, el promedio del contenido de humedad del mucílago de café varió de 88,6% inicial al 92,4% a las 74 horas de fermentación, y presentó el menor valor promedio (87,7%) a las 31 horas, que podría deberse a evaporación del agua durante la fermentación, debido a los cambios de temperatura ambiente entre el día y la noche. Posteriormente, se registró un aumento significativo del contenido de agua con el tiempo de fermentación del mucílago desde las 44 horas (Tabla 3), el cual se debe a la formación de agua en la oxidación del etanol obtenido de la fermentación alcohólica y también al agua producida en la respiración celular de los microorganismos (24).

En refrigeración, la humedad del mucílago de café se mantuvo entre 88,6% y 90,4%, sin cambios estadísticamente significativos en el tiempo. Entre condiciones se presentaron diferencias significativas en la humedad

promedio del mucílago de café a las 8 horas con un valor mayor en el refrigerado de 90,18%, y a las 68 horas con un valor mayor en la condición ambiente de 92,6%.

Cenizas. Representaron en promedio el 0,43% del peso del mucílago húmedo fresco, 2,95% a 4,62% en base seca. Por su parte, Martínez (19) reportó 0,65% de cenizas en base húmeda en el mucílago de café, Calle (13) 2,7% en b.s., y Pee y Castelein (22) citan 0,845% en b.h. de datos de Coleman *et al.* (1955) y 4,12% en b.s. de datos de Nadal (1959), mientras que Arias y Ruiz (3) presentaron valores de 0,33% y 0,35% de cenizas en b.h. Estas diferencias pueden deberse a las variedades usadas en estos estudios.

El contenido de cenizas del mucílago de café no varió estadísticamente en el tiempo y se mantuvo entre 0,42% y 0,47% en refrigeración y entre 0,42% y 0,53% en ambiente. El mucílago de café presentó en promedio 1,60% de K, 0,21% de Ca, 0,10% de P, 0,08% de Mg, 0,040% de Fe, 0,007% de Zn, 0,004% de Mn y 0,002% de Cu, (en base seca). Martínez (19) reportó 1,63% de

Ca y 0,64% de Fe en el mucílago, valores muy altos con respecto a los encontrados en este estudio.

Se hallaron diferencias significativas entre las condiciones, ambiente y refrigeración a las 4 horas para el contenido de P y Mn, con un mayor valor en el mucílago fermentado; a las 8 h hubo mayor contenido de Fe, en refrigeración; a las 26 h mayor contenido de Mn en condiciones ambiente; a las 44 h el Fe fue mayor en refrigeración; a las 52 h el Zn fue mayor en ambiente; a las 68 h fueron mayores los contenido de Mg y Cu a temperatura ambiente, y a las 74 h el K, P, Ca, Mn y Cu presentaron los mayores valores promedio en la condición ambiente.

Lípidos. Representaron en promedio el 0,12% del peso del mucílago fresco (0,86% a 1,45% en base seca). A temperatura ambiente los lípidos del mucílago de café se degradaron durante la fermentación, con un decrecimiento en función exponencial de la concentración de lípidos a través del tiempo, con un coeficiente de determinación de 0,98, así mismo, se presentaron cambios

Tabla 3. Promedio de la humedad del mucílago de café, según el tiempo de fermentación, a temperatura ambiente.

Tiempo de fermentación (hora)	Humedad (%)	
	Promedio*	Desviación típica
0	88,6 cd	2,2
4	88,3 cd	1,6
8	87,8 d	1,4
20	88,7 cd	1,7
26	89,4 bcd	1,8
31	87,7 d	1,3
44	90,7 abc	1,7
52	91,5 ab	1,6
68	92,6 a	1,2
74	92,4 a	1,1

* Valores con letras distintas indican diferencias estadísticas, Duncan, nivel significancia 5%

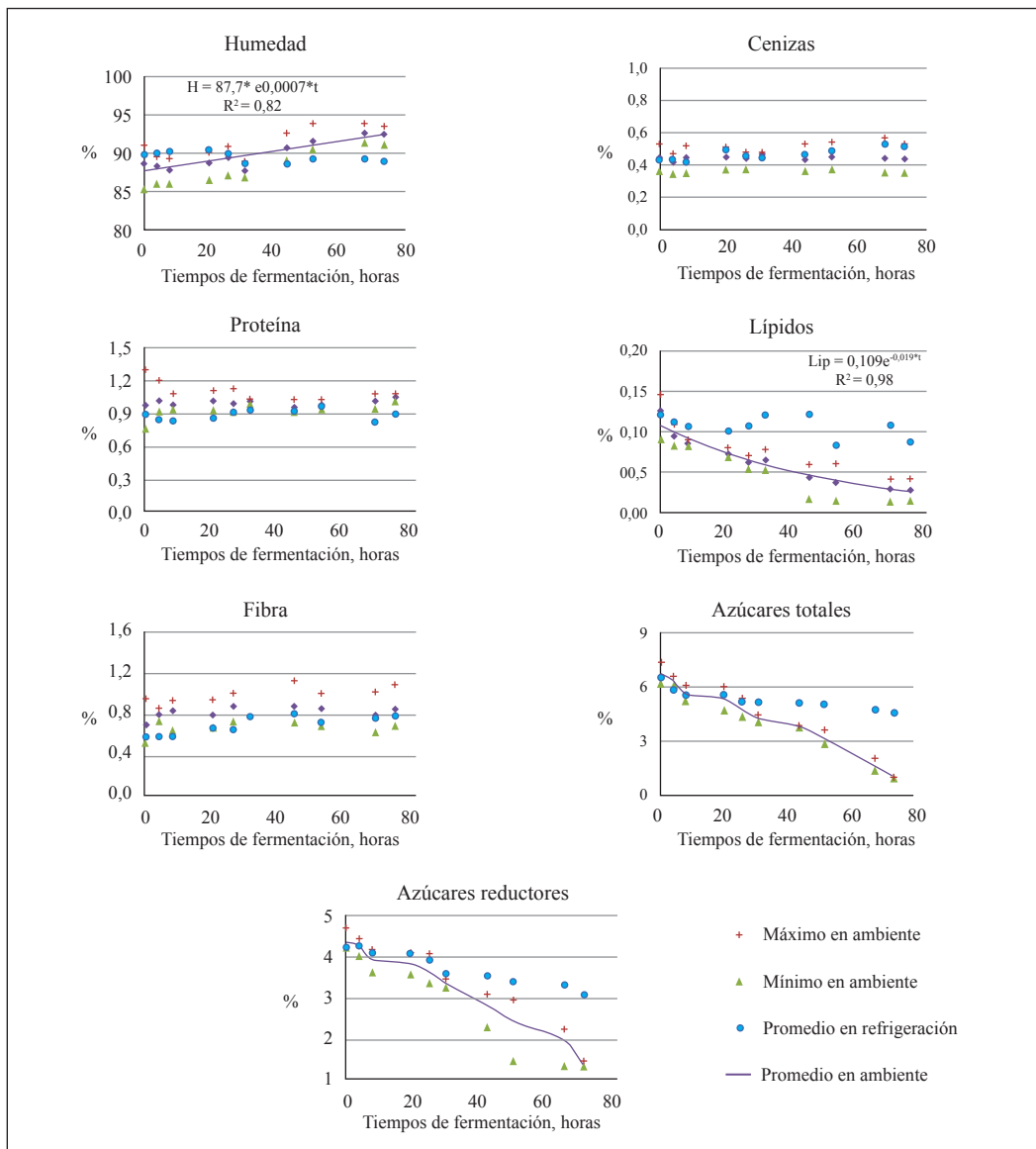


Figura 2. Contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, fibra, azúcares totales y reductores del mucilago de café durante la fermentación (porcentajes en base húmeda), en condiciones ambiente (15,4 a 30,5°C, promedio 20,5°C, humedad relativa 37,0% a 98,0%, promedio de 81,7%) y en refrigeración (4,8 a 8,0°C y 51,2% a 65,0% de humedad relativa, promedios 6,6°C y 58%).

significativos de su contenido desde las 4 horas y a las 20 y 44 horas (Tabla 4), estas degradaciones indican actividad de lipasas en el sustrato en fermentación.

En refrigeración, la degradación de los lípidos fue más lenta, así, a las 20 horas de fermentación en el ambiente se había descompuesto cerca del 40% de los lípidos

Tabla 4. Promedios de los lípidos del mucílago de café, según el tiempo de fermentación, a temperatura ambiente.

Tiempo de fermentación (Horas)	Lípidos(%) (Promedio)
0	0,126 a
4	0,095 b
8	0,086 bc
20	0,072 cd
26	0,061 de
31	0,065 cde
44	0,043 ef
52	0,037 f
68	0,029 f
74	0,027f

*Valores con letras distintas indican diferencias estadísticas, Duncan, nivel significancia 5%.

del mucílago, y a condiciones refrigeradas un 16%; desde las 8 horas los contenidos en el mucílago fermentado fueron significativamente menores que los del refrigerado (Tabla 5).

Proteínas. Conformaron el 0,93% del peso húmedo del mucílago de café maduro (6,37% a 9,52%, en base seca). Rolz *et al.* (29) reportan contenidos de nitrógeno equivalentes

a 0,49% a 1,15% b.h. de proteína, lo mismo que Menchú y Rolz (20) con 0,93% en b.h., y Rodríguez y Ríos (27) con 9,27% b.s., valores que concuerdan con los registrados en este estudio. Pee y Castelein (22) citan los contenidos de nitrógeno reportados por Coleman *et al.* (1955) y Nadal (1959), con valores de 0,13%, y 9,07%, respectivamente, pero no indican si estas concentraciones se expresan en base seca o húmeda.

Las proteínas son constituyentes de las enzimas y también aportan nitrógeno y azufre para el desarrollo de los microorganismos. En el estudio no se registraron cambios significativos en la concentración de las proteínas del mucílago de café durante la fermentación ni durante la refrigeración, con promedios que variaron entre 0,82% y 1,05% b.h.; solamente se observó un mayor valor promedio a las 74 h en el mucílago fermentado con respecto al refrigerado.

Carbohidratos. Constituyeron del 7,50% a 9,82% del peso del mucílago fresco, que correspondió del 82,7% al 83,7% de la materia seca. Los carbohidratos del mucílago de café

Tabla 5. Promedios de los lípidos del mucílago de café, de acuerdo a la condición ambiente o refrigeración, según el tiempo de fermentación.

Tiempo (horas)	Lípidos (% b.h.)			
	Refrigerado		Ambiente	
	Promedio (%)	Desviación típica (%)	Promedio (%)	Desviación típica (%)
0	0,122 a	0,022	0,126 a	0,017
4	0,112 a	0,021	0,095 a	0,011
8	0,107 a	0,016	0,086 b	0,004
20	0,102 a	0,016	0,072 b	0,005
26	0,108 a	0,009	0,061 b	0,007
31	0,121 a	0,021	0,065 b	0,018
44	0,121 a	0,011	0,043 b	0,019
52	0,084 a	0,025	0,037 b	0,019
68	0,109 a	0,033	0,029 b	0,012
74	0,088 a	0,013	0,027 b	0,011

*Valores con letras distintas entre condiciones indican diferencias estadísticas, *t* nivel significancia 5%.

fresco estuvieron conformados en promedio por 47,9% de azúcares reductores, 29,8% de azúcares no reductores como la sacarosa, 7,3% de fibra y cerca de 15,0% de sustancias no fibrosas, como las sustancias pécticas; no se encontró almidón en el mucílago de café. Rolz *et al.* (29) reportaron datos similares de carbohidratos totales en el mucílago de café fresco, con valores entre 5,1% a 10,7%.

Durante las fermentaciones, la glucosa y los monosacáridos son consumidos y fermentados por las levaduras y bacterias, los disacáridos son degradados en monosacáridos y varios polisacáridos son hidrolizados. Sin embargo, aún después de 74 horas de proceso, no todos los azúcares del mucílago de café se fermentaron, ni todas las sustancias pécticas se degradaron. Por su parte, Avallone *et al.* (7) afirman que los polisacáridos del mucílago de café se descomponen más por la acidificación del medio que por enzimas.

Azúcares totales. Constituyeron del 6,15% al 7,40% del peso húmedo del mucílago (48,01% a 70,48% en base seca) y estuvieron

conformados por 63% de azúcares reductores y 37% de azúcares no reductores.

Aguirre (1), Pee y Castelein (22), Elías (15) y Cabrera *et al.* (12) reportan datos de Wilboux (1956) y Picado (1934), con un contenido de azúcares totales de 45,8% b.s. para mucílago de café Robusta, y de otra parte, Pee y Castelein (22) citan 26,09% de azúcares totales, como dato de Nadal 1959, pero no indican la procedencia de las muestras. Por el contrario, los datos reportados por Menchú y Rolz (20), de 7% b.h. de azúcares totales del mucílago y el valor de 6,43% b.h. obtenido por Rodríguez y Ríos (27), concuerdan con los hallados en el presente estudio.

En la fermentación, los azúcares reductores del mucílago de café son oxidados por las levaduras y bacterias lácticas para producir etanol, ácido láctico y otros compuestos. De otra parte, los azúcares no reductores son degradados primero por hidrólisis y luego por fermentación de los azúcares reductores obtenidos. Así, la sacarosa se hidroliza

Tabla 6. Promedios de los azúcares totales del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y de refrigeración.

Tiempo de fermentación (horas)	Azúcares totales (%)		Tiempo de refrigeración (horas)	Azúcares totales (%)	
	Promedio*	Desviación típica		Promedio	Desviación típica
0	6,79a	0,51	0	6,54a	0,43
4	6,32 a	0,24	4	5,88 b	0,61
8	5,64 b	0,45	8	5,56 bc	0,46
20	5,36 b	0,56	20	5,61 bc	0,51
26	4,75 c	0,49	26	5,21 cd	0,23
31	4,29 cd	0,23	31	5,18 cd	0,15
44	3,82 d	0,04	44	5,13 cd	0,16
52	3,18 e	0,33	52	5,08 cde	0,32
68	1,60 f	0,31	68	4,74 de	0,19
74	1,00 g	0,00	74	4,49 e	0,05

*Valores con letras distintas entre tiempos, para cada condición, indican diferencias estadísticas, según la prueba Duncan, al 5%.

en el medio ácido de la fermentación, se invierte y forma glucosa y fructosa que son fermentables.

Para el mucílago fermentado se encontraron variaciones significativas del contenido de azúcares totales a las 8 h, a las 26 horas y después de 52 horas, mientras que el primer cambio significativo en la concentración de azúcares totales en el mucílago refrigerado se observó a las 4 horas, con una menor reducción en comparación con el material que se dejó a temperatura ambiente (Tabla 6). Entre condiciones ambiente hubo cambios significativos en el promedio de los azúcares totales a partir de las 31 horas, con un mayor contenido en el material refrigerado.

Azúcares reductores. Conformaron del 4,00% al 4,61% del peso del mucílago fresco que correspondió del 28,82% al 45,00% en base seca. Estos valores son similares a los reportados por otros autores, así: 4,11% b.h. por Martínez (19), 30% b.s. por Picado (1934), citado por Aguirre (1), Pee y Castelein (22), Elías (15) y Cabrera *et al.* (12); 5,07% b.h.

promedio obtenido por Rodríguez y Ríos (27), aunque estos últimos autores también presentaron en su informe valores de 2,41% b.h. como valor mínimo. En comparación, los mostos de uvas industriales contienen entre el 6,0% y el 12,0% p/v, b. h. de carbohidratos fermentables.

Los azúcares reductores del mucílago de café fermentado disminuyeron desde las primeras horas, con cambios significativos hasta las 74 horas; este decrecimiento mostró una relación exponencial entre el porcentaje de azúcares y el tiempo de fermentación. En el material refrigerado esta concentración no varió significativamente hasta las 31 horas, luego decreció y presentó otros cambios a las 74 horas (Tabla 7).

Entre condiciones se presentaron cambios significativos en el promedio de los azúcares reductores a partir de las 44 horas, con un mayor contenido en el material refrigerado. Arias y Ruiz (3) también reportaron disminución de azúcares reductores durante el almacenamiento a 4°C.

Tabla 7. Promedios de los azúcares reductores del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y de refrigeración.

Tiempo de fermentación (horas)	Azúcares totales (%)		Tiempo de refrigeración (horas)	Azúcares totales (%)	
	Promedio*	Desviación típica		Promedio	Desviación típica
0	4,16 a	0,22	0	4,03 a	0,03
4	4,08 ab	0,23	4	4,04 a	0,04
8	3,65 abc	0,31	8	3,86 a	0,19
20	3,51 bcd	0,29	20	3,82 a	0,17
26	3,26 cd	0,40	26	3,65 a	0,22
31	2,91 d	0,12	31	3,22 b	0,34
44	2,25 e	0,47	44	3,14 b	0,36
52	1,78 e	0,86	52	2,97 bc	0,35
68	1,18 f	0,54	68	2,87 bc	0,53
74	0,44 g	0,10	74	2,56 c	0,35

* Valores con letras distintas entre tiempos para cada condición, indican diferencias estadísticas, según la prueba de Duncan al 5%.

Fibra. La fibra del mucílago de café es una sustancia insoluble que contiene celulosa y hemicelulosas (7), pero no contiene lignina. La fibra constituyó del 0,54% al 0,99% en peso del mucílago fresco y del 5,38% al 7,46% en base seca, valores que son inferiores a los reportados como celulosa por Picado (1934) citado por Aguirre (1), Pee y Castelein (22), Elías (15) y Cabrera *et al.* (12), pero similares al 0,55% b.h. y 6,9% b.s., reportados por Arias y Ruiz (3), y a 8,9% b.s. de Avallone *et al.* (7).

La concentración de fibra en el mucílago fermentado presentó un alto valor a las 31 horas, cuando la humedad del mucílago disminuyó, y en la refrigeración su contenido aumentó después de las 20 horas. Entre ambas condiciones las diferencias fueron significativas a las 4 h, 8 h y 26 h con respecto al material fresco y a los tiempos posteriores.

Compuestos pécticos. Constituyen cerca del 5% de las paredes celulares de los vegetales y comprenden sustancias insolubles en agua como las protopectinas que tienen todos los grupos carboxilos esterificados con grupos metilo (-CH₃), los ácidos pécticos no metilados que contienen ácido D-galacturónico, sus sales los pectatos de Ca, los ácidos pectínicos esterificados y sus sales los pectinatos, y también las pectinas que son solubles en agua caliente (4, 23, 24).

Las sustancias pécticas conformaron del 0,57% al 2,02% del peso del mucílago fresco (5,39% a 17,45% en base seca). Por su parte, Pee y Castelein (21) reportaron del 29% al 36% de sustancias pécticas en el mucílago, según datos encontrados por Wilbax en 1937 y 1956, pero no indicaron la procedencia, calidad, ni proceso de obtención del mucílago, valores que son mayores a los encontrados en el presente estudio. Aguirre (1) cita a Wilbax en 1937, con 33% de

sustancias pécticas, Pee y Castelein (22) y Cabrera *et al.* (12) presentan datos de 33% b.s. de Picado (1934), y de 5,77% b.h. de datos de Nadal (1959); por su parte, Elías (15) reporta 35,8% de sustancias pécticas.

Por el contrario, los siguientes autores presentaron datos de compuestos pécticos en el mucílago de café, similares a los encontrados en el presente estudio: Martínez (19) con 0,91% en b.h. de ácido péctico; Menchu y Rolz (20), con 2,6% b.h. como ácido galacturónico; Avallone *et al.* (7) con 16,7% y 17,8% b.s.; y Rodríguez y Ríos (27) de 4,6% a 19,1% en base seca.

Durante la fermentación del mucílago se observaron variaciones en la concentración de las sustancias pécticas en el mucílago fermentado de café, pero no se encontró relación entre la degradación de estos compuestos pécticos con el tiempo de proceso. Los cambios en los contenidos de sustancias pécticas en el mucílago fermentado se explican por la actividad de pectinasas naturales del mucílago, que despolimerizan parcialmente los compuestos pécticos en el medio ácido de la fermentación. Las pectinesterasas se encuentran de forma natural en los tejidos de las plantas, además, muchas bacterias, levaduras y hongos producen pectinasas como protopectinasas, poligalacturonasas, pectinesterasas y pectinaliasas. En el mucílago de café se han reportado pectinasas producidas por bacterias *Pseudomonas* y *Xanthomonas campestris* (14) y por *Erwinia herbicola* y *Klebsiella pneumoniae* (6) y en la pulpa de café por *Bacillus* (11).

Así mismo, varias levaduras inclusive *Saccharomyces cerevisiae*, producen poligalacturonasas según Luh y Phaff (1951) y Agate y Bhat (1966), citados por Pee y Castelein (21). Estas enzimas tienen actividad óptima a pH entre 3,5 y 4,5 de acuerdo

con El Sayed (1994) y Abdel *et al.* (1996), citados por Arroyo (4). De la degradación de las sustancias pécicas se forman ácido galacturónico, ramnosa, galactosa, arabinosa, xilosa, fucosa, apiosa y otros compuestos como acetato y metanol.

Acidez total. Es la medida del contenido de las sustancias ácidas presentes en el mucílago de café, incluye los ácidos volátiles como el acético, otros ácidos como el málico, láctico, cítrico, succínico y otros compuestos. López *et al.* (18) reportaron contenidos de ácido galacturónico, málico, láctico, cítrico y propiónico en soluciones obtenidas con café recién despulpado y encontraron variaciones de la concentración de estos ácidos durante la fermentación.

La acidez de un litro de mucílago de café fresco presentó un valor promedio de 969 mg de CaCO₃, aumentó con el tiempo de fermentación, a las 20 horas se triplicó su valor, y a las 74 horas alcanzó un valor promedio de 7.000 mg de CaCO₃. Tchana y Jacquet (32), Rolz *et al.* (29) y Menchú y Rolz (20) reportan mayores valores de la acidez volátil y total del mucílago

fermentado con respecto al mucílago fresco. Igualmente, Avallone *et al.* (8) y Jackels y Jackels (17) encontraron aumento de ácidos láctico y acético con el tiempo de fermentación del café.

Los cambios de la acidez del mucílago de café tuvieron un comportamiento de crecimiento exponencial en las primeras horas de fermentación y su valor presentó variaciones significativas durante la fermentación (Tabla 8). Esta acidificación se desarrolló por las bacterias fermentadoras, principalmente las lácticas que producen ácido láctico y por el ácido acético que se produce por bacterias y durante la acetificación del alcohol (23, 24).

En condiciones de refrigeración, la acidez se mantuvo por cerca de 20 h como la del mucílago fresco, luego se incrementó en forma más lenta que en ambiente, y a las 68 h alcanzó valores promedio de 2.000 mg CaCO₃/L. Así mismo, la acidez del mucílago de café según la condición se diferenció desde las 4 horas, con un mayor valor en la fermentación a temperatura ambiente que en refrigeración (Tabla 9).

Tabla 8. Promedios de la acidez del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y de refrigeración.

Tiempo de fermentación (horas)	Acidez (mg CaCO ₃ /L)		Tiempo de refrigeración (horas)	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	
	Promedio*	Desviación típica		Promedio	Desviación típica
0	969 g	112	0	926 f	61
4	1.481 g	423	4	940 ef	51
8	2.159 f	228	8	1.031 ef	70
20	3.350 e	406	20	1.113 de	31
26	4.330 d	491	26	1.210 d	103
31	4.913 d	425	31	1.464 c	78
44	5.725 c	456	44	1.578 c	83
52	6.125 bc	433	52	1.910 b	178
68	6.663 ab	643	68	2.083 a	105
74	7.156 a	645	74	2.123 a	115

*Valores con letras distintas para cada condición indican diferencias estadísticas, entre tiempos, según la prueba Duncan, al 5%

Tabla 9. Promedios de la acidez del mucílago de café, según la condición de fermentación, ambiente y refrigeración.

Tiempo horas	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	
	Refrigerado*	Ambiente
0	926 a	969 a
4	940 b	1.481 a
8	1.031 b	2.159 a
20	1.112 b	3.350 a
26	1.210 b	4.330 a
31	1.464 b	4.913 a
44	1.578 b	5.725 a
52	1.910 b	6.125 a
68	2.083 b	6.663 a
74	2.138 b	7.156 a

*Promedios con letras diferentes entre condiciones indican diferencias estadísticas, según la prueba T al 5%.

Alcohol. El promedio del contenido de etanol en el mucílago fresco fue de 0,12% p/p. La concentración de alcohol aumentó de forma exponencial durante la fermentación a temperatura ambiente y alcanzó valores promedio de 0,46% a las 74 horas.

En las primeras 20 horas la concentración del etanol del mucílago aumentó rápidamente, pero después los cambios fueron más lentos,

esto se debe al consumo del sustrato (el mucílago), a la reducción de las levaduras, a las condiciones ácidas y a la misma presencia del etanol en el sustrato. Después de 44 horas de fermentación, los contenidos de alcohol fueron significativamente mayores con respecto al contenido en el mucílago fresco, y no variaron hasta las 74 horas (Tabla 10). Jackels y Jackels (17) y Avallone *et al.* (8) también reportaron incrementos de etanol con el tiempo de fermentación del café.

Por su parte, en condiciones de refrigeración la concentración de etanol en el mucílago no varió de forma significativa con el tiempo de almacenamiento, y a las 74 horas se encontró un valor promedio de 0,15% de alcohol en el mucílago refrigerado. Por consiguiente, la temperatura inferior a 8°C inhibió el crecimiento y el metabolismo fermentativo de las levaduras del mucílago. Entre condiciones se observaron diferencias significativas en el contenido de alcohol del mucílago de café desde las 31 horas (Tabla 11).

Aporte calórico. Las calorías de 100 g de mucílago de café fresco variaron entre 34,9 y 45,6, que se explican por el alto

Tabla 10. Promedios del alcohol del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y de refrigeración.

Tiempo de fermentación (horas)	Alcohol (%)		Tiempo de refrigeración (horas)	Alcohol (%)	
	Promedio*	Desviación típica		Promedio	Desviación típica
0	0,120 d	0,028	0	0,128 ab	0,018
4	0,109 d	0,033	4	0,143 a	0,052
8	0,144 cd	0,012	8	0,116 ab	0,005
20	0,201 c	0,047	20	-	-
26	0,200 c	0,087	26	0,127 ab	0,017
31	0,342 b	0,000	31	0,120 ab	0,018
44	0,450 a	0,000	44	0,128 ab	0,017
52	0,446 a	0,000	52	0,093 b	0,005
68	0,456 a	0,003	68	-	-
74	0,458 a	0,000	74	0,152 a	0,003

*Valores con letras distintas entre tiempos para cada condición indican diferencias estadísticas, según la prueba Duncan, al 5%

Tabla 11. Promedios del contenido de alcohol del mucílago de café, en cada tiempo de fermentación, según la condición ambiente o refrigeración.

Tiempo (horas)	Alcohol (%)	
	Refrigerado*	Ambiente
0	0,128 a	0,120 a
4	0,143 a	0,109 a
8	0,116 b	0,144 a
26	0,127 a	0,200 a
31	0,12 b	0,342 a
44	0,128 b	0,450 a
52	0,093 b	0,446 a
74	0,152 b	0,458 a
68	2.083 b	6.663 a
74	2.138 b	7.156 a

*Promedios con letras distintas entre condiciones indican diferencias estadísticas, según la prueba *t* al 5%.

contenido de humedad de este material y el bajo contenido de lípidos. Por consiguiente, el mucílago de café no constituye una buena fuente energética como alimento y debe mezclarse con concentrados, como fue demostrado en la alimentación de cerdos por Garavito y Puerta (16).

A medida que aumentó el tiempo de fermentación a temperatura ambiente, disminuyó de forma significativa el aporte calórico del mucílago, después de 52 horas, debido a la transformación de los azúcares en ácidos que tienen más bajo poder energético (Tabla 12). El aporte calórico del mucílago se mantuvo en el material refrigerado entre 36,8 y 46,2 cal/100 g.

Entre condiciones se observaron variaciones significativas del aporte calórico por parte

de cada nutriente y el alcohol, desde las 44 horas, tiempo en el que se aportaron menos calorías por los carbohidratos y más por el alcohol, a condición ambiente (Tablas 12 y 13).

Puede concluirse que:

- El mucílago de café fresco es un material vegetal con alto contenido de agua, 85% a 91%; los azúcares son los principales componentes de su materia seca, 6,2% a 7,4%, conformados por 63% de azúcares reductores. Esta composición química y las levaduras y bacterias naturales del mucílago explican su característica precedera y la ocurrencia natural de su fermentación a temperatura ambiente.
- Las principales variaciones en la composición química del mucílago de café durante la fermentación son la disminución de la concentración de los azúcares, las producciones de ácidos y etanol y la degradación de los lípidos. No se observó relación entre la variación de la concentración de los compuestos pécticos del mucílago de café con el tiempo de fermentación.
- La velocidad de las degradaciones durante la fermentación del mucílago de café depende de la temperatura externa y del tiempo. A temperatura ambiente de 20,5°C la disminución de azúcares es significativa desde las 8 horas, la acidez desde las 8 horas y este valor se triplica a las 20 horas, el etanol aumenta después de 20 horas y los lípidos disminuyen desde las primeras horas. Mientras que en refrigeración el contenido de azúcares cambia después de 26 a 31 horas, la acidez después de 26 horas, el etanol no cambia y los lípidos disminuyen más lentamente.

Tabla 12. Promedios de las calorías de 100 g de mucílago de café y del porcentaje de calorías aportadas por los carbohidratos y por los alcoholes, según el tiempo de fermentación a temperatura ambiente.

Tiempo de fermentación (horas)	Aporte calórico		Calorías aportadas por carbohidratos (%)		Calorías aportadas por Alcohol (%)	
	Calorías	Desviación típica	Promedio	Desviación típica	Promedio	Desviación típica
0	40,0 ab	4,0	85,7 a	0,7	2,2 c	0,5
4	42,1 ab	2,1	86,4 a	1,5	2,0 c	0,5
8	43,7 a	2,9	86,7 a	1,6	2,3 c	0,3
20	42,2 ab	6,7	85,2 a	2,0	3,4 c	0,8
26	38,5 ab	7,2	84,3 a	3,0	3,7 c	1,6
44	34,9 abc	6,6	78,3 b	3,6	9,2 b	1,7
52	32,2 bc	2,3	76,6 b	2,9	9,7 b	0,7
68	23,9 c	5,4	67,6 c	5,8	13,7 a	3,0
74	23,8 c	4,1	67,1 c	7,0	13,7 a	2,4

*Promedios con letras distintas entre tiempos para cada variable indican diferencias estadísticas, según la prueba Duncan al 5%.

Tabla 13. Promedios de las calorías totales del mucílago y el aporte de los carbohidratos, lípidos, proteínas y alcoholes entre las condiciones ambiente y refrigerado a las 44 horas.

Calorías del mucílago de café a las 44 horas	Aporte calórico (Calorías)	
	Refrigerado*	Ambiente
Totales	43,5 a	34,9 a
Porcentaje aportado por carbohidratos	87,0 a	78,3 b
Porcentaje aportado por lípidos	2,5 a	1,5 b
Porcentaje aportado por proteínas	8,5 b	11,0 a
Porcentaje aportado por alcohol	2,0 b	9,2 a

*Valores con letras diferentes para cada variable entre condiciones indican diferencias estadísticas, según al prueba *t* al 5% de significancia

- La refrigeración, hasta por 24 a 30 horas, a temperatura inferior a 8°C, resultó una forma de conservación adecuada para el mucílago de café y se recomienda como método de almacenamiento de este subproducto, para su posterior utilización como sustrato de fermentación o en otros procesos industriales o pecuarios, y también como forma de conservación del café despulpado hasta su procesamiento, hasta por 20 horas.
- La temperatura inferior a 8°C inhibe el crecimiento y el metabolismo de las levaduras y bacterias naturales del mucílago de café y, por consiguiente, retrasa las fermentaciones alcohólica y láctica.
- La información sobre la composición química del mucílago de café fresco, fermentado y refrigerado obtenida en esta investigación, aporta al conocimiento sobre la cinética química de la fermentación del café,

además, sobre métodos de conservación del mucílago y también es aplicable para estudios de factibilidad técnica de los procesos agroindustriales que se puedan desarrollar con este residuo del beneficio del café.

AGRADECIMIENTOS

A Esther Cecilia Montoya R., Kevin A. Hincapié V. y al personal de la Estación Central Naranjal por el suministro de café. Esta investigación fue financiada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros y hace parte de las actividades que se desarrollaron en el proyecto QIN0800, Caracterización y utilización del mucílago de café.

LITERATURA CITADA

1. AGUIRRE B., F. La utilización industrial del grano de café y de sus subproductos. Guatemala : ICAITI, 1966. 33 p.
2. ARIAS Z., M.; HENAO N., L.; CASTRILLÓN G., Y. Producción de ácido láctico por fermentación de mucílago de café con *Lactobacillus Bulgaricus* NRRL-B548. [En línea]. México : Redalyc, 2009. Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49612069015>. Consultado en Enero de 2012.
3. 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.
4. ARROYO O., A.G. Producción de enzimas pectinasas por actinomicetos en cultivo sumergido utilizando pectina y cáscara de naranja. [En línea]. Lima : Universidad mayor de San Marcos, 2002. Disponible en Internet: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Salud/Arroyo_O_A/T_completo.pdf. Consultado en Enero 2010
5. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of AOAC international. 18a. ed. Gaithersburg : AOAC, 2006. p.v.
6. 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.
7. AVALLONE, S.; GUIRAUD, J.P.; GUYOT, B.; OLGUIN P., E.; BRILLOUET, J.M. Polysaccharide constituents of coffee-bean mucilage. Journal of food science 65(8):1308-1311. 2000.
8. AVALLONE, S.; GUYOT, B.; BRILLOUET, J.M.; OLGUIN P., E.; GUIRAUD, J.P. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. Current microbiology 42:252-256. 2001.
9. BLANDÓN C., G.; DÁVILA A., M.T.; RODRÍGUEZ V., N. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago, en proceso de lombricompostaje. Cenicafé 50(1):5-23. 1999.
10. BRESSANI, R. Posibles usos de los subproductos del grano de café. p. 31-43. En: Pulpa de café: Composición tecnología y utilización. Bogotá : CIID, 1978. 152 p.
11. CABELLO V., A.; RUIZ, J.S.; ORIHUELA A., M.L. Bacterial pectinase production using coffee pulp as substrate. Revista latinoamericana de microbiología 24(3):173-180. 1982.
12. CABRERA, S. DE; CALZADA, J.F.; GIL, L.A.; ARRIOLA, M.C. DE. Etanol de cerezas y mucílago de café. p. 129-137. En: SIMPOSIO Internacional sobre la utilización integral de los subproductos del café. (3 : Febrero 16-18 1987 : Guatemala). Guatemala : ICAITI : ANACAFÉ PNUMA, 1987. 162 p.
13. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1977. 84 p. (Boletín Técnico No. 6).
14. 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.
15. ELIAS, L.G. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos. p. 19-29. En: PULPA de café: Composición tecnología y utilización. Bogotá : CIID, 1978. 152 p.
16. GARAVITO R., A.; PUERTA Q., G.I. Utilización del mucílago del café en la alimentación de cerdos. Cenicafé 49(3):231-256. 1998.
17. JACKELS, S.C.; JACKELS, C.F. Characterization of the coffee mucilage fermentation process using

- chemical indicators: A field study in Nicaragua. *Journal of food science* 70(5):C321-C325. 2005.
18. 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.
 19. MARTÍNEZ N., N.G. Coffee mucilage: Its chemical composition. Coffee and tea industries and the flavor field 82(8):17-18. 1959.
 20. MENCHU E., J.F.; ROLZ, C. Coffee fermentation technology. *Café cacao* the 17(1):53-61. 1973.
 21. PEE, W. VAN; CASTELEIN, J. The yeast flora of fermenting robusta coffee. *East african agricultural and forestry journal* 36(3):308-310. 1971.
 22. 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.
 23. PUERTA Q., G.I. Efecto de enzimas pectolíticas en la remoción del mucilago de *Coffea arabica* L. según el desarrollo del fruto. *Cenicafé* 60(4):291-312. 2009.
 24. PUERTA Q., G.I. Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 12p. (Avances Técnicos No. 402).
 25. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 352).
 26. PUERTA Q., G.I.; MARÍN M., J.; OSORIO B., G.A. Composición microbiológica del mucilago de café. p. 44-45. En: INFORME anual de actividades de investigación: Disciplina química industrial. Chinchiná : CENICAFÉ, 1996. p.v.
 27. RODRÍGUEZ V., N.; RÍOS A., R. Caracterización del mucilago de café utilizado como materia prima para la producción de pectinas. p.v. En: INFORME anual de actividades de investigación: Disciplina química industrial. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. p.v.
 28. RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393).
 29. ROLZ, C.; MENCHUE., J.F.; ESPINOSA, R.; GARCÍA P., A. Coffee fermentation studies. p. 259-269. En: COLLOQUE International sur la chimie des cafés. (5 : Junio 14-19 1971 : Lisboa). Paris : ASIC : 1971. 434 p.
 30. ROUSSOS, S.; LONSANE, B.K.; RAIMBAULT, M.; VINIEGRA, G. Advances in solid state fermentation. Dordrecht : Kluwer academic, 1997. 631 p.
 31. SCHLEGEL, H.G. Microbiología general. Barcelona : Omega, 1979. 448 p.
 32. TCHANA, E.; JACQUET, M.; GUYOT, B.; VINCENT, J.C. Etude de l'influence des conditions de fermentation sur les caracteristiques d'un café Arabica. p. 309-318. En: COLLOQUE Scientifique international sur le café. (11 : Fevrier 11-15 1985 : Lome). Paris : ASIC, 1985. 696 p.

DIFERENCIACIÓN GENÉTICA Y BIOLÓGICA DEL PARASITOIDE DE LA BROCA DEL CAFÉ, *Prorops nasuta*, EN COLOMBIA

Carlos Ernesto Maldonado Londoño*, Pablo Benavides Machado**

RESUMEN

MALDONADO L., C.E.; BENAVIDES M., P. Diferenciación genética y biológica del parasitoide de la broca del café, *Prorops nasuta*, en Colombia. Revista Cenicafé 62 (2): 41-57. 2011

El control biológico es uno de los mayores componentes del programa de manejo integrado de la broca del café en Colombia. En 1989 y 1990 se introdujeron al país los parasitoides betílidos *Prorops nasuta* y *Cephalonomia stephanoderis*, dando inicio a su cría masiva y liberación en cafetales afectados. Con el propósito de comparar la variabilidad biológica de *P. nasuta* en términos de capacidad de depredación, parasitismo y longevidad, así como para la determinación de su variabilidad genética por medio de la técnica AFLP, se recolectaron muestras de café con broca parasitada, en siete departamentos de Colombia, y se establecieron crías de *P. nasuta* de acuerdo al origen geográfico. Por medio de pruebas moleculares se encontraron estrechas relaciones intraespecíficas al comparar los individuos establecidos en el país con muestras provenientes de Brasil y México. Se encontró un polimorfismo de 62% y una débil estructura de poblaciones lo que sugiere que la diversidad genética se debió posiblemente a un cruce entre las introducciones del parasitoide en las crías en laboratorio y no a la presión de selección a la que se sometieron en el campo, siendo la línea colombiana diferente a las establecidas en Brasil y México. Aunque en las caracterizaciones biológicas los parasitoides de la unidad de cría de Cenicafé mostraron mejor comportamiento seguida por una población de Nariño, la similitud genética entre las poblaciones no permitió establecer diferencias. Con estos resultados, cualquier estrategia de mejoramiento genético de los parasitoides en Colombia deberá incluir nuevas introducciones de poblaciones divergentes.

Palabras clave: Control biológico, *Hypothenemus hampei*, Biología, AFLP, Cría de insectos.

ABSTRACT

Biological control is one of the major components of the Integrated Pest Management Program of coffee berry borer in Colombia. The bethylid parasitoids *Prorops nasuta* and *Cephalonomia stephanoderis* were introduced to the country in 1989 and 1990, a time during which a mass rearing and release program began in affected coffee plantations. In order to compare the biological variability of *P. nasuta* in terms of predation capacity, parasitism, and longevity as well as to determine genetic variability by the AFLP technique, coffee samples were collected with parasitized berry borer in seven departments of Colombia, and *P. nasuta* colonies were set according to geographical origin. Narrow intraspecific relationships were found through molecular tests when comparing the individuals established in the country with samples from Brazil and Mexico. A polymorphism of 62% and a weak population structure were found, which suggests that genetic diversity is possibly due to a cross between the introductions of the parasitoid in the offspring in laboratory rather than the selection pressure under field conditions. The Colombian population proved to be different from that in Brazil and Mexico. Although the parasitoids biological characterizations of the Cenicafé rearing unit showed better performance followed by a population of Nariño, the genetic similarity between populations did not allow to establish differences. These results suggest that any parasitoids breeding strategy in Colombia must include new introductions of divergent populations.

Keywords: Biological control, *Hypothenemus hampei*, Biology, AFLP, Insect Rearing.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Mejoramiento Genético. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

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

La broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), es considerada la plaga más importante de este cultivo a nivel mundial, debido a que ocasiona la caída de frutos, la pérdida de peso del grano, la disminución del precio y el deterioro de la calidad (6, 14, 34).

Desde la llegada de la broca a Colombia, en 1988, al departamento de Nariño, el Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, comenzó a estructurar un programa de manejo integrado de este insecto, teniendo como uno de sus pilares básicos el control biológico. De esta manera, se introdujeron al país tres especies de parasitoides de alta especificidad a la broca, originarias de África ecuatorial: *Prorops nasuta* Waterston, *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Phymastichus coffea* La Salle, las dos primeras pertenecientes a la familia Bethyilidae y la última a la familia Eulophidae (10).

La primera especie introducida a Colombia, entre 1989 y 1990, fue *C. stephanoderis*, proveniente de una colonia mantenida en Ecuador y de muestras recolectadas en Togo, para lo cual se estandarizó una metodología de cría exitosa en los laboratorios ubicados en el departamento de Nariño (40). Durante 1990 se comenzó la cría de *P. nasuta*, en el mismo laboratorio, con individuos enviados desde Ecuador, los cuales eran originarios de Kenia (8, 26). En 1996, las crías de parasitoides mantenidas en Nariño se trasladaron a los laboratorios de Cenicafé (Manizales, Caldas) y se realizó una nueva introducción de *P. nasuta* desde Brasil, donde la especie había sido llevada en 1929 desde Uganda (37, 46).

La invasión de la broca del café en Colombia fue rápida, para 1997 la plaga se encontraba en el 75% de los cultivos de

café en Colombia (5), y de acuerdo a su dispersión se difundió el manejo integrado a las zonas productoras afectadas. Las primeras liberaciones de los parasitoides en el campo se realizaron en Nariño, empezando con *C. stephanoderis* en 1990 y en 1991, con cantidades menores de *P. nasuta* (7, 11). Entre 1994 y 2000 se liberaron en cultivos de café, de 17 departamentos de Colombia, un poco más de 1.845 millones de *C. stephanoderis*, y entre 1997 y 2000, cerca de 516 millones de *P. nasuta* (25, 38).

No todas las especies de parasitoides introducidas en programas de control biológico clásico se establecen, de 4.769 introducciones realizadas en el mundo hasta 1990, solamente se establecieron 1.445 (19). En el control de la broca del café, las dos especies de la familia Bethyilidae se han registrado establecidas en Brasil (15, 46, 51), Ecuador (33) y Honduras (47, 48). En México se estableció *C. stephanoderis*, mientras que la permanencia en el campo de *P. nasuta* no fue superior a 15 días (4, 22, 24). Algunos autores han considerado que *C. stephanoderis* es el parasitoide más eficiente para el control biológico de la broca del café (4, 28), registrándose en Togo mortalidades de broca en el campo entre 35% a 45% (9), y además, por su capacidad de establecimiento en los países latinoamericanos incluyendo a Colombia (7, 11, 43). Sin embargo, en Colombia, 5 años después de la primeras liberaciones de los betílidos en Nariño, se demostró su establecimiento en el campo, pero siendo superior *P. nasuta* que *C. stephanoderis* en términos de presencia en los lotes muestreados, niveles de parasitismo y adaptación a intervalos altitudinales (41). Después de 15 años del inicio de las liberaciones de parasitoides en Colombia, sólo se encontró a *P. nasuta* establecido en el campo, en el 65% de los sitios de muestreo que cubrieron siete departamentos, desde Nariño hasta Cesar (31).

Se registraron niveles de parasitismo entre 0,25% y 50%, en cafetales con condiciones contrastantes de oferta ambiental y de manejo del cultivo, como evidencia de la alta capacidad de adaptación de esta especie al ecosistema cafetero colombiano (30, 31, 42). Adicionalmente, el establecimiento de la especie pudo haberse favorecido por la presencia de hospedantes alternos, ya que se ha registrado en Colombia a *P. nasuta* parasitando *Hypothenemus obscurus* (F.).

La mayor parte de las introducciones de controladores biológicos involucran un gran número de individuos, con el propósito de reducir la pérdida de variabilidad genética asociada al tamaño de la población, sin embargo, esa muestra inicial se reduce en los procesos de cuarentena, cría y establecimiento en el campo (21, 49). En la introducción pueden ocurrir problemas relacionados con efectos fundadores, deriva genética, endogamia y baja adaptación al ambiente (20). Así mismo la epistasia puede incrementar la variación genética aditiva en estas introducciones (12, 17, 18) y los efectos fundadores pueden estar relacionados con diferenciación de poblaciones y especiación (3, 13, 16).

Para determinar la variabilidad genética de especies que no han sido estudiadas desde el enfoque de la biología molecular, debe trabajarse con marcadores que no requieran conocimiento previo de secuencias nucleotídicas y que aporten suficiente información. Una técnica apropiada es la detección de polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificadas (*Amplified Fragment Length Polymorphisms*, AFLP) (53). Esta técnica ha demostrado tener la suficiente sensibilidad y ser una herramienta poderosa para distinguir genotipos de diferentes orígenes geográficos y proveer suficientes marcadores moleculares para la caracterización de genomas de insectos (32, 39).

Con el propósito de establecer si la presión de selección a la que se ha sometido *Prorops nasuta* en Colombia ha conducido a variaciones adaptativas, se caracterizó genética y biológicamente el parasitoide establecido en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en los laboratorios del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, en Planalto (Manizales, Caldas).

Se recolectaron muestras en 80 fincas cafeteras, de 62 veredas y 17 municipios, en los departamentos de Nariño, Valle, Quindío, Risaralda, Caldas, Norte de Santander y Cesar (Tabla 1). Cada muestra estuvo conformada por al menos 200 frutos de café infestado por broca, recolectados mediante un muestro al azar, en un recorrido en zigzag, en un lote de cada finca. Los granos de café brocados se trasladaron al laboratorio de Entomología de Cenicafé, donde se disecaron, extrayendo los diferentes estados biológicos de la broca así como los parasitoides encontrados en las muestras. El acercamiento taxonómico a nivel de especie, de los parasitoides encontrados en los granos, se basó en características morfológicas del insecto adulto, siendo uno de los caracteres diagnósticos de la especie *Prorops nasuta* la presencia de un proceso bífido por encima de las inserciones antenales y el clipeo, y para *Cephalonomia stephanoderis* la ausencia de éste y de la vena radial (44).

De cada uno de los granos de café infestados por broca, parasitados por *P. nasuta*, se tomó el 50% de los estados del parasitoide y se almacenaron en tubos de microcentrifuga con etanol absoluto a temperatura ambiente, para la extracción del ADN y posterior caracterización genética. Con

Tabla 1. Muestras utilizadas para el desarrollo de las pruebas AFLP y porcentaje de polimorfismo por finca, para cuatro combinaciones de *primers*.

Departamento	Municipio	Muestras		No. total de bandas	No. de bandas polimórficas	Polimorfismo
		Código finca	n			
Nariño	Sandoná	SndSoc	5	92	19	20,65%
Nariño	Sandoná	SndEme	6	94	29	30,85%
Nariño	Sandoná	SndEdel	4	93	23	24,73%
Nariño	Sandoná	SndSaJo	5	91	14	15,38%
Nariño	Sandoná	SndExB	4	94	16	17,02%
Nariño	Ancuyá	AncRRO	5	94	17	18,09%
Nariño	Ancuyá	AncEWH	5	95	18	18,95%
Nariño	Ancuyá	AncPRos	5	93	14	15,05%
Nariño	Ancuyá	AncLoma	5	94	15	15,96%
Nariño	Ancuyá	AncTdLp	5	95	16	16,84%
Nariño	Consacá	CnMarC	5	91	15	16,48%
Nariño	Consacá	CnJoTr	5	89	19	21,35%
Nariño	Consacá	CnBom	5	95	21	22,11%
Nariño	Consacá	CnSPed	5	94	14	14,89%
Nariño	Consacá	CnVIne	5	95	15	15,79%
Nariño	La Unión	LUNar1	1	87	-	-
Valle	Pance	PV	2	86	17	19,77%
Quindío	Quimbaya	QbyBA	7	80	22	27,50%
Quindío	Quimbaya	QbyMal	1	81	-	-
Quindío	Quimbaya	QbyVHol	9	95	26	27,37%
Quindío	Quimbaya	QbyMar1	1	80	-	-
Quindío	Quimbaya	QbyTach1	1	81	-	-
Quindío	Quimbaya	QbyGra1	1	76	-	-
Quindío	Quimbaya	QbyEst1	1	76	-	-
Quindío	Buenavista	BvisSAlb1	1	81	-	-
Risaralda	Pereira	RdaCzal	3	92	20	21,74%
Risaralda	Pereira	RdaMrey	9	97	29	29,90%
Caldas	Chinchiná	ChBA	10	96	26	27,08%
Caldas	Palestina	PalStaA	7	90	26	28,89%
Caldas	Palestina	PalMesa	6	96	22	22,92%
Caldas	Palestina	PalTolu	10	93	19	20,43%
Caldas	San José	SJLU	4	93	19	20,43%
Norte de Santander	Pamplonita	PamBl	4	94	5	5,32%
Norte de Santander	Pamplonita	PamChi	7	95	20	21,05%
Norte de Santander	Chinácota	ChntIns	6	94	11	11,70%
Norte de Santander	Chinácota	ChntAmp	2	92	11	11,96%
Cesar	La Jagua de Ibirico	JagDel	2	89	12	13,48%
Cesar	La Jagua de Ibirico	JagPor1	1	84	-	-

la población restante se establecieron crías en confinamiento, agrupando las muestras provenientes de cada departamento, con el fin de determinar la variabilidad biológica.

Variabilidad biológica de *Prorops nasuta* establecido en Colombia. Para la caracterización biológica de *P. nasuta* se incrementó el número de individuos proveniente de cada una de las regiones. Se establecieron crías individuales del parasitoide para los departamentos de Quindío, Caldas, Norte de Santander, y dos poblaciones independientes del departamento de Nariño, con los parasitoides de los municipios de Sandoná y Consacá, considerando que en Nariño se realizaron las primeras liberaciones de estos parasitoides y quizás éstas contengan las poblaciones originales de manera aislada. Posterior a la disección de los frutos, se reunieron los adultos de *P. nasuta* de cada región y se llevaron a recipientes plásticos tapados con muselina, junto con granos de café pergamino seco de agua, con 19 a 22 días después de ser infestados con broca, en una relación de dos granos brocados por un adulto de *P. nasuta*.

Las crías se mantuvieron en completa oscuridad a una temperatura de 25°C, con una humedad relativa mínima del 70%, siguiendo la descripción de cría de Bustillo *et al.* (11). Después de 24 días los granos parasitados se llevaron a cámaras de emergencia, donde los adultos de *P. nasuta* fueron recolectados mediante estímulos lumínicos. Los individuos emergidos se recolectaron diariamente.

La caracterización de la variabilidad biológica de *P. nasuta* consistió en la determinación del porcentaje de parasitismo, la capacidad de depredación y la longevidad de

los parasitoides de las poblaciones regionales (Quindío, Caldas, Norte de Santander, Consacá y Sandoná) y de la población proveniente de la cría de Cenicafé (línea Cenicafé mantenida en Chinchiná por la empresa Biocafé). Con la caracterización se establecieron diferencias de adaptación del parasitoide.

Porcentaje de parasitismo. El porcentaje de parasitismo se definió como el promedio porcentual de frutos infestados por broca que fueron parasitados por los adultos colonizadores, para lo cual se tomó como unidad de muestreo cinco hembras del parasitoide, con 25 granos de café pergamino seco de agua, con una sola perforación, contenidos en frascos de vidrio con tapa perforada. Cada cría se evaluó con 30 unidades de muestreo a los 20 días, con la variable porcentaje de frutos con estados de broca parasitados por *P. nasuta*. Se contó con un testigo sin parasitoides para corroborar que no existiese parasitismo previo.

Longevidad de *Prorops nasuta* depredando adultos de broca y su capacidad de depredación de estados inmaduros. Para determinar la capacidad de depredación de adultos de broca, se tomó como unidad de muestreo una hembra del parasitoide, con 30 brocas adultas depositadas en un tubo con papel en trozos. Para cada una de las crías del parasitoide se establecieron 30 repeticiones. El número de brocas muertas se cuantificó diariamente hasta la muerte del parasitoide. Se contó con un testigo de igual número de brocas y unidades de muestreo para determinar la mortalidad natural. Se determinó el porcentaje de mortalidad por el parasitoide corregido por el testigo, utilizando la fórmula de Schneider – Orelli (45), donde:

$$\text{Mortalidad Corregida} = \frac{\% \text{ Mortalidad Tratamiento} - \% \text{ Mortalidad Testigo}}{100 - \% \text{ Mortalidad Testigo}} \times 100$$

Para la determinación de la capacidad de depredación de huevos y larvas de primer instar de broca se tomó como unidad de muestreo una hembra del parasitoide junto con 50 huevos de broca, en una caja Petri. Para cada cría se establecieron 30 repeticiones. Diariamente, se registró el número de estados depredados hasta que el parasitoide hubiera consumido la totalidad de los estados de broca o hasta la muerte del mismo, estableciendo el porcentaje acumulado de estados depredados por día, para cada una de las crías evaluadas. Se estableció la tasa diaria de depredación de estados inmaduros de broca mediante regresión lineal simple.

Longevidad de *Prorops nasuta* depredando estados inmaduros de broca. Para evaluar la longevidad del parasitoide alimentándose de estados inmaduros de broca, se establecieron 20 repeticiones, donde cada unidad de muestreo consistió en una hembra del parasitoide recién emergida ubicada en un recipiente plástico de 100 mL, donde cada 3 días se le suministraron larvas y prepupas de broca para su alimentación, de acuerdo a metodología de Infante *et al.* (23). Se registró el tiempo de supervivencia del parasitoide en días.

Todos los bioensayos fueron establecidos bajo un diseño experimental completamente aleatorio. Se realizaron análisis de varianza para establecer diferencias estadísticas entre las poblaciones de *P. nasuta*, y se realizaron comparaciones mediante prueba de Duncan al 5%.

Variabilidad genética de *Prorops nasuta*. Para el análisis de la variabilidad genética se seleccionaron 187 muestras (Tabla 1). Cada muestra consistió en los individuos del parasitoide presentes en granos de café infestados parasitados. Se obtuvieron con propósitos de comparación genética tres muestras de Brasil, cuatro de México y

diez de la cría Cenicafé. La extracción del ADN genómico se realizó utilizando el producto DNeasy Tissue Kit (Qiagen Inc.) siguiendo las instrucciones del fabricante. La calidad de la extracción se determinó por medio de electroforesis en gel de agarosa al 1% y su concentración se determinó por espectrofotometría y fluorometría.

El nivel de polimorfismo intraespecífico de *P. nasuta* se determinó por medio de la técnica de polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados (*Amplified fragment length polymorphisms*, AFLP) (53), utilizando el producto comercial AFLP® *Analysis System II* (Invitrogen™), siguiendo las instrucciones del fabricante, sin la utilización de marcaje radioactivo. Los productos de PCR se separaron en geles de poliacrilamida (acrilamida-bisacrilamida (19:1) 5%, urea 7 M, TBE 0.5X) y se revelaron por tinción con nitrato plata. Para seleccionar las combinaciones de *primers Eco RI* y *MseI* para las amplificaciones selectivas, se tomaron cuatro muestras de diferentes orígenes recolectadas en los municipios de Chinácota (Norte de Santander), La Unión (Nariño), Consacá (Nariño) y Palestina (Caldas), y cada una se amplificó con 40 combinaciones de *primers*. Se determinó el porcentaje de polimorfismo entre el número de bandas polimórficas del total de bandas amplificadas y se eligieron las cuatro combinaciones de *primers* que generaron los mayores niveles de polimorfismo para la amplificación selectiva del total de muestras. Los geles se digitalizaron y se construyó una matriz binaria de presencia (uno) y ausencia (cero) para los loci evaluados, asumiendo que los fragmentos de ADN de cadena sencilla que migraron a igual distancia en el gel fueron de secuencia idéntica. Con esta información se estableció el porcentaje de polimorfismo por niveles: finca, municipio, departamento y país, como la relación entre el número

de bandas polimórficas y el número total de bandas evaluadas. La similitud genética entre las muestras según su perfil AFLP se calculó utilizando el modelo de distancias de Nei y Li (36), a partir del cual se generó un dendrograma utilizando el método de la media aritmética no ponderada (UPGMA) con “Bootstrap” de 1.000 permutaciones por medio del programa Treecon 1.3b (50). Se utilizó también la similitud genética entre las muestras de los departamentos evaluados en este estudio y las obtenidas con fines de comparación genética calculando las distancias genéticas de Nei (35), después de estimar las frecuencias alélicas según el procedimiento de Lynch y Milligan (29) por medio del programa AFLP-SURV 1.0 (52). A partir de esta matriz de distancia se graficó un dendrograma utilizando el método UPGMA por medio del programa MEGA 3.0 (27).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad biológica de *Prorops nasuta* establecido en Colombia

Porcentaje de parasitismo. El análisis de varianza para la variable porcentaje de

parasitismo bajo el diseño completamente aleatorio mostró diferencias significativas entre las poblaciones del parasitoide proveniente de los orígenes geográficos. La comparación Duncan al 5% reveló diferencias significativas entre la población de Cenicafé y Norte de Santander, y de éstas con respecto a las demás poblaciones (Tabla 2). La cría que presentó el mayor parasitismo fue la población mantenida en Biocafé (Cenicafé), donde se observó en promedio 1,1 granos infestados parasitados por el parasitoide, y un máximo de 1,6 granos. De los departamentos evaluados, el mayor parasitismo se obtuvo en Norte de Santander. Los resultados de esta variable permiten sugerir que *P. nasuta* tiene la capacidad de parasitar más de un grano de café brocado.

Longevidad de *Prorops nasuta* depredando adultos de broca y su capacidad de depredación de estados inmaduros.

Se observó la depredación de adultos de broca inmediatamente se liberaron los parasitoides. *P. nasuta* decapitó la broca con sus mandíbulas por la región membranosa entre los escleritos pro y mesotorácicos, alimentándose de su hemolinfa. El análisis de varianza bajo el diseño completamente

Tabla 2. Porcentaje de granos infestados por broca parasitados por *Prorops nasuta* y porcentaje de depredación de adultos de broca por el parasitoide de acuerdo a las regiones geográficas evaluadas.

Origen	N	Porcentaje de parasitismo (%)			Porcentaje de depredación de adultos de broca (%)		
		Máximo	Promedio*	Error Estándar	Máximo	Promedio*	Error Estándar
Cenicafé	30	32	22,13 A	1,03	96,10	54,29 A	5,54
Norte de Santander	30	32	18,13 B	0,87	75,53	31,30 B	4,36
Caldas	30	32	14,13 C	0,95	87,00	47,66 A	4,41
Quindío	30	24	13,86 C	0,59	95,11	50,75 A	4,89
Sandoná	30	24	14,93 C	1,13	92,08	45,42 A	4,61
Consacá	30	20	13,60 C	0,70	90,38	42,71 AB	4,11
Total	180	32	16,13	0,43	96,10	45,36	1,96

* Promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%.

aleatorio reveló diferencias significativas entre los orígenes geográficos estudiados para la variable porcentaje de adultos depredados por un individuo del parasitoide. Se encontraron diferencias significativas entre la población de Norte de Santander con respecto a las demás (Tabla 2), con el menor promedio de depredación de adultos (9 brocas con un máximo de 23). En el mejor de los casos, un solo individuo del parasitoide fue capaz de depredar 29 adultos de brocas, lo que confirma la capacidad de este parasitoide de regular poblaciones de broca en el campo. Hubo diferencias estadísticas, a un nivel de 5%, en la longevidad de los parasitoides adultos, alimentándose exclusivamente de adultos de broca; la longevidad del parasitoide en las condiciones del bioensayo alcanzó un valor máximo de 8 días para la población de parasitoides de la cría Cenicafé (Tabla 3), la cual fue mayor comparado con pruebas realizadas en México donde la longevidad promedio fue de 2,2 días con un máximo de 6 días (23). El mayor promedio para esta variable se encontró en la cría Cenicafé con 4,9 días. Las crías de Norte de Santander y Quindío mostraron los valores más bajos de longevidad.

Las depredación de estados inmaduros de broca por *P. nasuta* ocurrió en 6 a 7 días, tiempo en el cual un parasitoide consumió los 50 estados de broca que contenía las unidades experimentales. El análisis de varianza, bajo el diseño experimental completamente aleatorio, indicó diferencias estadísticas entre las regiones geográficas evaluadas y la prueba de comparación de Duncan al 5% mostró una mayor depredación en la cría de Sandoná (Tabla 4). Por medio de un análisis de regresión lineal simple se estimó la tasa diaria de depredación, de tal manera que la cría de Sandoná presentó una tasa de depredación de ocho estados por día.

Longevidad de *Prorops nasuta* depredando estados inmaduros de broca. El análisis de varianza, bajo el diseño experimental completamente aleatorio al 5%, mostró diferencias significativas entre las poblaciones de *P. nasuta* estudiadas en la variable longevidad depredando estados inmaduros de broca. La mayor longevidad se observó en la población mantenida en Cenicafé, según prueba de comparación de promedios de Duncan al 5% (Tabla 3). La menor longevidad se presentó en la población de Consacá. En estas crías se alcanzó una longevidad máxima

Tabla 3. Longevidad de *Prorops nasuta* depredando adultos y estados inmaduros de la broca del café.

Origen	n	Longevidad de <i>P. nasuta</i> depredando adultos de Broca			Longevidad de <i>P. nasuta</i> depredando larvas y prepupas de broca			
		Máx.	Prom.	E.E.	n	Máx.	Prom.	E.E.
Caldas	30	7	3,86 B	0,25	20	77	33,2 BC	5,03
Cenicafé	30	8	4,86 C	0,39	20	74	46,25 D	4,12
Consacá	30	7	4,3 BC	0,31	20	18	8,15 A	1,10
Norte de Santander	30	5	2,73 A	0,22	20	70	21,35 B	3,94
Quindío	30	5	3 A	0,21	20	71	24,7 B	5,54
Sandoná	30	6	4,16 BC	0,31	20	77	40,1 CD	4,85
Total	180	8	3,82	0,13	120	77	28,95	2,08

* Promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%. Máx.: Máximo; Prom.: Promedio; E.E.: Error estándar.

Tabla 4. Porcentaje de depredación de estados inmaduros de broca por *Prorops nasuta* establecido en regiones cafeteras en Colombia.

Origen	n	Prom. ⁺	E.E.	Modelo*	R ²
Caldas	30	80,13 A	4,04791	$y = 5,9827x + 4,2405$	0,9993
Cenicafé	30	81,46 AB	4,29374	$y = 5,8499x + 6,6389$	0,9612
Consacá	30	84,40 AB	3,10787	$y = 6,3719x + 5,8003$	0,9987
Norte de Santander	30	82,66 AB	4,73124	$y = 7,91x - 4,0771$	0,9718
Quindío	30	76,06 A	4,51764	$y = 6,2831x + 5,1601$	0,9774
Sandoná	30	92,40 B	1,79245	$y = 7,8918x - 4,783$	0,9558
Total	180	82,85	1,61		

+ Promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias estadísticas según la prueba Duncan al 5%. *Para el modelo “y” es la depredación en términos de “x” que es el tiempo en días. Prom.: Promedio; E.E.: Error estándar

de 77 días (Figura 1), la cual fue mayor comparada con pruebas realizadas en México donde el mayor promedio fue estimado en 27,7 días con un máximo de 57 días (23). Teóricamente, dada la longevidad de *P. nasuta* y su capacidad para depredar, se podría considerar que esta especie de parasitoide podría controlar hasta tres ciclos de broca en el campo (Figura 1); sin embargo, sería más una actividad de depredación que de parasitismo, ya que hembras del parasitoide de más de 20 días de edad no paralizan la broca ni ovipositan de manera adecuada para garantizar la sobrevivencia de su progenie (23). En las pruebas realizadas en este estudio se observó el desarrollo de las larvas del parasitoide que consumían los hospedantes y no podían tejer su capullo por carencia de puntos de soporte, quedando totalmente expuestas. En esta condición, la hembra del parasitoide depredó las larvas de su misma progenie y no se alimentó de la broca. No se observó canibalismo sobre otros estados del parasitoide que se encontraban parasitando a la broca.

Para todas las características biológicas evaluadas en el parasitoide, la población del parasitoide mantenida en Cenicafé mostró el mejor comportamiento según los resultados obtenidos por las pruebas de comparación de

promedios, seguido de las crías de Sandoná y Caldas. Este resultado puede ser explicado por el período de 10 años en el cual se vienen criando estos insectos bajo las mismas circunstancias, es decir, las condiciones de cría han permitido una adaptación de individuos fértiles y agresivos.

Variabilidad genética de *Prorops nasuta*.

Se realizó una caracterización genética con 187 muestras de ADN de *Prorops nasuta* recolectadas en el campo y aquellas usadas como comparación, utilizando las cuatro combinaciones de *primers* más polimórficas mediante la técnica de AFLP, evaluadas previamente: E-TG/M-CAG, E-TG/M-CAT, E-AG/M-CAG y E-TC/M-CAG. Estos análisis revelaron 97 bandas genéticas de clara lectura, ubicadas entre 100 y 700 pares de bases, de las cuales, 61 fueron polimórficas. El porcentaje de polimorfismo por finca osciló entre valores de 5,32% y 30,85% (Tabla 5). Los mayores porcentajes de polimorfismo por departamento se registraron en Nariño (Tabla 5), región donde se realizaron las primeras liberaciones de *P. nasuta*, con individuos originarios de Kenia (40), y donde posteriormente se liberaron individuos criados en Colombia, pero provenientes de una segunda introducción procedente de Brasil y cuyo origen fue Uganda. Quindío también

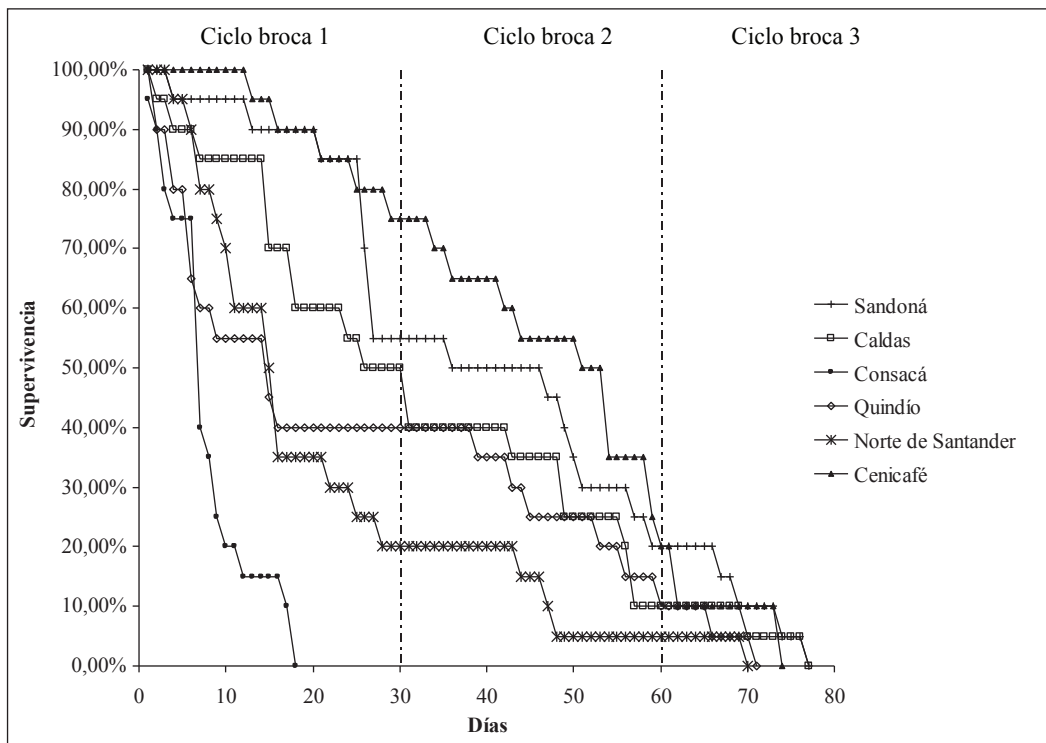


Figura 1. Días de Supervivencia de *P. nasuta* alimentada con larvas y prepupas de la broca del café para cinco poblaciones provenientes de diferentes regiones de Colombia. Las líneas verticales indican posibles ciclos biológicos de la broca del café que el parasitoide podría depredar.

mostró altos niveles de polimorfismos, los cuales pueden ser explicados por las múltiples liberaciones realizadas durante varios años en estudios de investigación participativa con agricultores (2).

El porcentaje de polimorfismo encontrado en Colombia fue del 61,81%, en la cría Cenicafé de 22,34% con 94 bandas, en Brasil de 20,25% con 79 bandas y en México 30,26% con 76 bandas presentes. Estos resultados sugieren que ha existido una mayor probabilidad de que individuos al interior de cada finca se hayan estado cruzando entre ellos, dadas las barreras geográficas; sin embargo, los altos porcentajes de polimorfismo observados a nivel de departamentos y del país indican

que estas subpoblaciones posiblemente también se han venido cruzando a través del tiempo, o bien que las poblaciones han sido mezcladas durante su cría en confinamiento previa liberación en el campo. Dados los antecedentes de las importaciones, cría y liberaciones de esta especie en Colombia, la segunda hipótesis es la más probable.

Al comparar las muestras recolectadas en el campo con aquellas provenientes de Brasil, México y Cenicafé, por medio de UPGMA con 1.000 permutaciones a partir de una matriz de distancia Nei y Li (36), se pudo observar una formación de dos grupos con bajos valores de *bootstrap* (Figura 2): el primero de ellos (A, I) agrupando las

Tabla 5. Porcentaje de polimorfismo por departamento y municipio, del parasitoide *P. nasuta* establecido en el campo en Colombia.

Origen		Polimorfismo por municipio				Polimorfismo por departamento			
Departamento	Municipio	n	No. B. Amp.	No. B. Pol.	% Pol.	n	No. B. Amp.	No. B. Pol.	% Pol.
Nariño	Sandoná	24	94	34	36,17				
Nariño	Ancuyá	25	95	27	28,42	75	95	45	47,37
Nariño	Consacá	25	95	33	34,73				
Nariño	La Unión	1	87	-	-				
Valle	Pance	2	90	17	18,88				
Quindío	Quimbaya	21	96	38	39,58	22	96	39	40,62
Quindío	Buenavista	1	81	-	-				
Risaralda	Pereira	12	97	30	30,93	12	97	30	30,93
Caldas	Chinchiná	10	96	26	27,08				
Caldas	Palestina	23	96	30	31,25	37	97	34	35,05
Caldas	San José	4	93	19	20,43				
Norte de Santander	Pamplonita	11	95	20	21,05	19	95	23	24,21
Norte de Santander	Chinácota	8	94	17	18,08				
Cesar	Jagua de Ibirico	3	89	12	13,48	3	89	12	13,48

No.B.Amp: Número de Bandas Amplificadas; No.B.Pol.: Número de bandas Polimórficas; % Pol.: Porcentaje de polimorfismo

muestras de Brasil y México (muestras fuera de grupo) y dos muestras del municipio de Palestina, y en el segundo el resto de las muestras evaluadas. Este análisis indica que no existieron diferencias genéticas marcadas entre las muestras evaluadas, que permitieran determinar grupos independientes; sin embargo, estos resultados son informativos y sugieren que las muestras de México, Brasil y Palestina pudieron tener el mismo origen.

Las muestras más cercanas a Brasil y México corresponden a una finca del municipio de Palestina (Caldas), donde a pesar de la alta tecnificación del cultivo, condición en que se reducen los estados disponibles del huésped por recolección manual de frutos brocados y aplicación de insecticidas, se encontró un porcentaje de parasitismo superior al 10% (31). Este comportamiento podría ser explicado por la posible presencia de genes de resistencia a insecticidas en el parasitoide. Esta información podría estar relacionada con

la historia de *P. nasuta* en Brasil, donde el uso del biocontrolador fue desplazado por la utilización de insecticidas clorados, y a pesar de ello, el establecimiento del insecto en el campo se detectó décadas más tarde (46, 51, 54). Es probable que *P. nasuta* haya creado resistencia a insecticidas por la presión de selección a la que fue sometida, y es factible que en la finca del municipio de Palestina se hayan realizado las primeras liberaciones de *P. nasuta* después de su introducción desde Brasil en 1996, conservando allí una línea del parasitoide no mezclada con los individuos provenientes de Ecuador. A pesar que la presencia de genes de resistencia en *P. nasuta* no fue confirmada en estudios posteriores de campo (42), sería recomendable analizar las poblaciones presentes en esta finca para confirmar esta hipótesis.

Los estudios de la biología de *P. nasuta* indican que debe existir una alta endogamia en esta especie (1), ya que la cópula ocurre

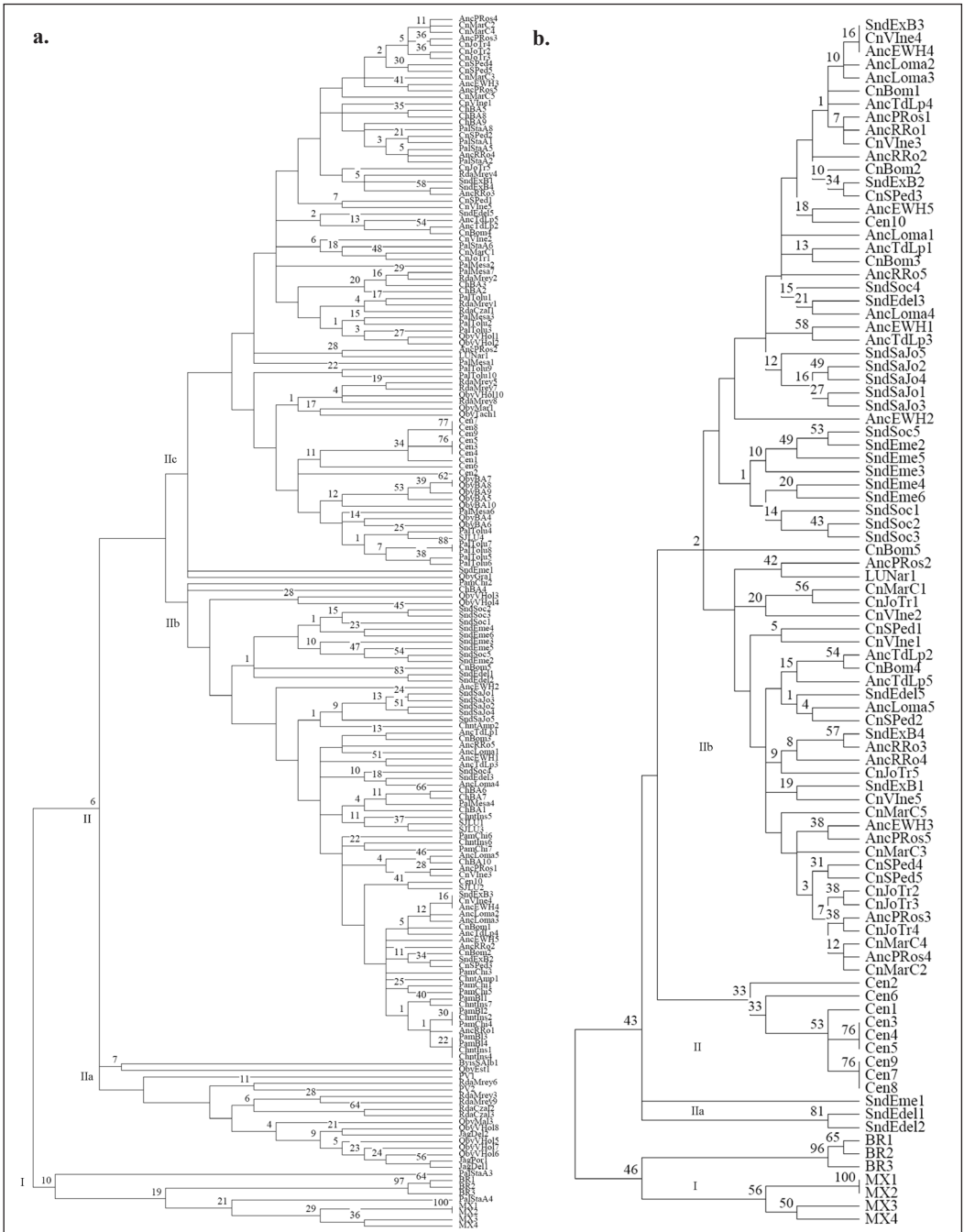


Figura 2. Dendrogramas a partir de las distancias genéticas por análisis UPGMA con Bootstrap de 1000 permutaciones. **a.** Agrupamiento de *P. nasuta* establecido en el campo en Colombia y las muestras de Brasil, México y la cría Cenicafé. **b.** Agrupamiento de *P. nasuta* establecido en el campo en el departamento de Nariño y las muestras de Brasil, México y la cría de Cenicafé. Los valores de soporte de los nodos corresponden al porcentaje de Bootstrap.

entre individuos de igual progenie antes de emerger del grano de café infestado donde se desarrollaron. No obstante, los resultados desvirtúan parcialmente esta hipótesis, debido a que se encontraron altos niveles de variación genética, que indican apareamientos por fuera de los granos conteniendo el huésped. Esta situación podría ser explicada en dos escenarios: (1) Que la especie sea realmente endogámica, pero que la variabilidad genética haya sido enriquecida en condiciones de cría en confinamiento de tal manera que las hembras del parasitoide pueden copular con machos de diferentes progenies y, posteriormente, ser liberadas en el campo, conteniendo toda la variabilidad genética; o (2) Que la especie no sea altamente endogámica y que los machos alados busquen hembras para la cópula por fuera de los granos de café en el campo.

Al realizar el mismo tipo de análisis UPGMA entre las muestras de Nariño, las extranjeras y Cenicafé (Figura 2b) se presentan dos grupos soportados por mayores porcentajes de *Bootstrap* (>40%); el primero (B, I) incluye las muestras fuera de grupo y el segundo (B, II) contiene todas las muestras del departamento y las de Cenicafé, con clara diferencia de tres muestras (SndEdel1, 2 y SndEme1) (B, IIa), las cuales corresponden a las fincas donde se realizaron las primeras liberaciones del parasitoide en el año 1991 (7). El nodo Iic (Figura 2b) divide a su vez la mayoría de las muestras de Cenicafé de las del resto de Nariño, con bajos soportes de *Bootstrap*. La diferencia entre el parasitoide establecido en Colombia con las muestras de Brasil y México se corroboró utilizando las diferencias estadísticas de Nei (35), después de estimar las frecuencias alélicas según el procedimiento de Lynch y Milligan (29),

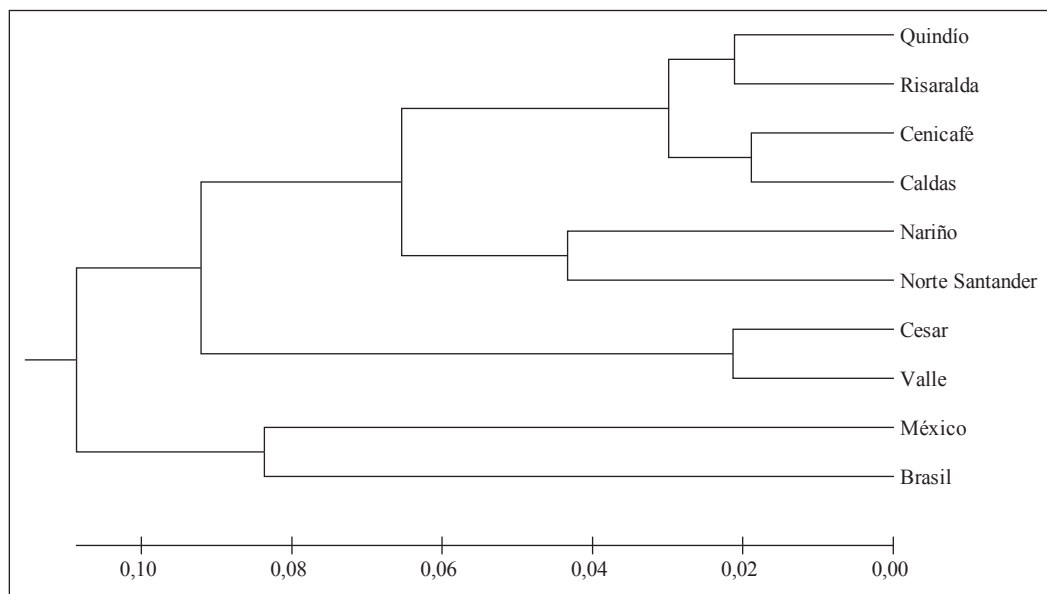


Figura 3. Dendrograma a partir de las distancias genéticas por análisis UPGMA, agrupando las muestras por departamento, comparadas con las muestras de Brasil y México.

generando un dendrograma por el método UPGMA (Figura 3). Este análisis presenta la primera caracterización genética de *P. nasuta* mediante la técnica AFLP.

En conclusión, los resultados indican estrechas relaciones intraespecíficas comparando las muestras colombianas con las de Brasil y México, y aún mayor entre las muestras colombianas, donde se observa una débil subestructura de poblaciones y ausencia de patrones principales de agrupamiento a partir de los análisis genéticos con bajos soportes de *bootstrap* para los nodos. La débil estructura de poblaciones encontradas a pesar de los altos valores del porcentaje de polimorfismo, sugiere que la diversidad se origina por las condiciones de cría con respecto a su posibilidad de apareamiento, más que a la presión de selección a la que se somete la especie en los diferentes ambientes colombianos donde se ha establecido, teniendo en cuenta la reducción de las poblaciones del parasitoide y su hospedante después de las épocas de cosecha. La baja diversidad genética de la cría Cenicafé puede deberse a la fijación de los alelos por sucesivos cruces, de acuerdo con los ciclos de cría y a las bajas poblacionales en el pie de cría, sumado posiblemente a cambios en la disponibilidad de alimento, sanidad y condiciones de cría.

Los resultados sugieren que en Colombia se encuentra una línea del parasitoide distinguible con respecto a otras poblaciones presentes en Latinoamérica, que se generó a partir de la unión de individuos del parasitoide originarios de Kenia introducidas por Ecuador y las de Uganda desde Brasil. Es probable que esta mezcla le haya conferido a las poblaciones de Colombia ventajas en su capacidad de establecimiento. La divergencia de poblaciones está sustentada por la presencia de marcadores moleculares ligados a los países de origen y determinada por medio de las pruebas AFLP.

La información genética del parasitoide sugiere que las variables biológicas evaluadas describieron de mejor manera el comportamiento de *P. nasuta* establecido en Colombia, más que el de cada línea encontrada por departamento. De esta manera, un individuo del parasitoide establecido en Colombia, en las condiciones de este experimento, tiene la capacidad de parasitar hasta 1,6 granos infestados por broca, depredar hasta 29 adultos de broca, 8 estados inmaduros diariamente, podría vivir hasta 8 días cuando se alimenta exclusivamente de adultos y hasta 77 días cuando lo hace de estados inmaduros del coleóptero.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se realizó con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros, en Cenicafé bajo el código ENT1821. Los autores agradecen a la doctora Esther Cecilia Montoya por el apoyo en los análisis estadísticos y a Héctor A. Chica por el apoyo en el análisis de información. Igualmente a Francisco Infante, Tito Bacca y Luis Miguel Constantino quienes suministraron especímenes de *P. nasuta*. A los investigadores Ricardo Acuña y María del Pilar Moncada por sus aportes a la investigación. A los Auxiliares de Investigación Mauricio Jiménez y Diana S. Rodríguez por su constante colaboración. Igualmente a los investigadores y auxiliares de las Disciplinas de Entomología y Mejoramiento Genético de Cenicafé, y a la empresa Biocafé, especialmente a Arcesio González y Óscar Gómez, por proveer las brocas y los parasitoides necesarios para esta investigación.

LITERATURA CITADA

1. ABRAHAM, Y.J.; MOORE, D.; GODWIN, G. Rearing and aspects of biology of *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethyilidae) parasitoids of the coffee berry borer,

- Hypothenemus hampei* (Coleoptera : Scolytidae). Bulletin of entomological research 30:121-128. 1990.
2. ARISTIZÁBAL A., L.F.; BUSTILLO P., A.E.; JIMÉNEZ Q., M.; TRUJILLO E., H.I. Encuentro de caficultores experimentados: Manejo integrado de la broca del café a través de investigación participativa. Chinchiná : CENICAFÉ, 2004. 70 p.
 3. BARTON, N.H.; CHARLESWORTH, B. Genetic revolutions, founder effects and speciation. Annual review of ecology and systematics 15:133-164. 1984.
 4. BATCHELOR, T.P.; HARDY, I.C.W.; BARRERA G., J.F. Interactions among bethylid parasitoid species attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). Biological control 36:106-118.
 5. BENAVIDES M., P. Genetic variability and global distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). West Lafayette : Purdue university, 2006. 95 p. Tesis: Doctor of philosophy.
 6. BENAVIDES M., P.; ARÉVALO, H. Manejo integrado: Una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé 53(1):50-59
 7. BENAVIDES M., P.; BUSTILLO P., A.E.; MONTOYA R., E.C. Avances sobre el uso del parasitoide *Cephalonomia stephanoderis* (Hym.: Bethyidae) para el control de broca del café, *Hypothenemus hampei*. Revista colombiana de entomología 20(4):247-253. 2002.
 8. BENAVIDES M., P.; PORTILLAR, M.; OROZCO H., J. Classical biological control of coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia with african parasitoids. p. 430-434. En: INTERNATIONAL Symposium on biological control of arthropods (1 : Enero 14-18 2002 : Honolulu). Washington : USDA, 2003. 573 p.
 9. BORBÓN, O.M. La broca del fruto del cafeto: Programa cooperativo ICAFE-MAG. San José de Costa Rica : ICADE : MAG, 1991. 50 p.
 10. BUSTILLO P., A.E. El papel del control biológico en el manejo integrado de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Revista de la academia colombiana de ciencias 29(110):55-68. 2005.
 11. BUSTILLO P., A.E.; OROZCO, H.J.; BENAVIDES M., P.; PORTILLA R., M. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé 47(4):215-230. 1996.
 12. CARSON, H.L. Increased genetic variance after a population bottleneck. Trends in ecology and evolution 5:228-230. 1990.
 13. CARSON, H.L.; TEMPLETON, A.R. Genetic revolutions in relation to speciation phenomena: The founding of new populations. Annual review of ecology and systematics 15:97-131. 1984.
 14. DUQUE O., H. Cómo reducir los costos de producción en la finca cafetera. 2da. ed. Chinchiná: CENICAFÉ, 2004. 99 p.
 15. DE SOUZA, M.S.; TEIXEIRA, C.A.D.; COSTA, V.A.; COSTA, J.N.M. Ocorrência de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyidae) em cafezais da Amazonia Brasileira. Neotropical entomology 35(4):560-562. 2006.
 16. GAVRILETS, S.; BOAKE, C.R.B. On the evolution of premating isolation after a founder event. American naturalist 152:706-716. 1998.
 17. GOODNIGHT, C.J. On the effect of founder events on epistatic genetic variance. Evolution 41(1):80-91. 1987.
 18. GOODNIGHT, C.J. Epistasis and the effect of founder events on the additive genetic variance. Evolution 42(3):441-454. 1988.
 19. GREATHEAD, D.J.; GREATHEAD, A.H. Biological control of insect pests by insect parasitoids and predators: The BIOCAT database. Londres : Commonwealth agricultural bureaux, 1992. 8 p. (Biocontrol news inform No. 13)
 20. HUFBAUER, R.A. Evidence for nonadaptive evolution in parasitoid virulence following a biological control introduction. Ecological application 12(1):66-78. 2002.
 21. HUFBAUER, R.A.; BOGDANOWICZ, S.M.; HARRISON, R.G. The population genetics of a biological control introduction: Mitochondrial DNA and microsatellite variation in native and introduced populations of *Aphidius ervi*, a parasitoid wasp. Molecular ecology 13(2):337-348. 2004.
 22. INFANTE, F.; MUMFORD, J.; MENDEZ, I. Non-recovery of *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethyidae), an imported parasitoid of the coffee berry borer (Coleoptera:Scolytidae) in Mexico. Southwestern entomologist 26(2):159-163. 2001.

23. INFANTE, F.; MUMFORD, J.; BAKER, P. Life history studies of *Prorops nasuta* a parasitoid of the coffee berry borer. *BioControl* 50(2):259-270. 2005.
24. INFANTE, F.; MUMFORD, J.; GARCÍA, A. Predation by native arthropods on the African parasitoid *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) in coffee plantations of Mexico. *Florida entomologist* 86(1):86-88. 2003.
25. ICA. Protección sanitaria del cultivo del café convenio ICA FNC: Informe 1998. Bogotá : ICA, 1999. 48 p.
26. KLEIN, D.C.; ESPINOZA, O.; TANDAZO, A.; CISNEROS, P.; DELGADO, D. Factores naturales de regulación y control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. *Sanidad vegetal* 3(3):5-30. 1988.
27. KUMAR, S.; TAMUR, K.; NEI, M. MEGA3: Integrated software for molecular evolutionary genetics analysis and sequence alignment. *Briefings in bioinformatics* 5(2):150-163. 2004.
28. LACHAUD, G.P.; HARDY, I.C.W.; LACHAUD, J.P. Insect gladiators: Competitive interactions between three species of bethylid wasps attacking the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). *Biological control* 25(3):231-238. 2002.
29. LYNCH, M.; MILLIGAN, B.G. Analysis of population genetic structure with RAPD markers. *Molecular ecology* 3(2):91-99. 1994.
30. MALDONADO L., C.E. Variabilidad genética y evaluación biológica del parasitoide *Prorops nasuta* Waterston en Colombia. Pamplona [Colombia] : Universidad de Pamplona. Departamento de maestrías y doctorados, 2007. 73 p. Tesis: Magister en biología molecular y biotecnología.
31. MALDONADO L., C.E.; BENAVIDES M., P. Establecimiento de los parasitoides betílidos *Cephalonomia stephanoderis* Betrem y *Prorops nasuta* Waterston, controladores de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae) en Colombia. *Cenicafé* 58(4):333-339. 2007.
32. MENDELSON, T.C.; SHAW, K.L. Use of AFLP markers in surveys of arthropod diversity. *Methods in enzymology* 395:161-177. 2005.
33. MENDOZA, J.; QUIJIJE, R. Informe de ocho años de investigación en el control biológico de la broca del café en Ecuador. [En línea]. Quevedo [Ecuador] : INIAP: COFENAC, 2005. Disponible en internet: <http://www.cofenac.org/documentos/Informe-Tecnica.pdf>. Consultado en Octubre 17 de 2006.
34. MONTOYA R., E.C. Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Cenicafé* 50(4):245-258. 1999.
35. NEI, M. *Molecular evolutionary genetics*. New York : Columbia university press, 1987. 512 p.
36. NEI, M.; LI, W.H. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America* 76(10):5269-5273. 1979.
37. OROZCO H., J. Producción de *P. nasuta* cepa Brasil. En: Informe anual de actividades Octubre de 1995 Septiembre 1996. Chinchiná : CENICAFÉ, 1996. 33 p.
38. OROZCO H., J. Programa de introducción de parasitoides en la zona cafetera. En: Informe anual de actividades Octubre de 1999 Septiembre 2000. Chinchiná : CENICAFÉ, 2000. 20 p.
39. PARSONS, Y.M.; SHAW, K.L. Species boundaries and genetic diversity among Hawaiian crickets of the genus *Laupala* identified using amplified fragment length polymorphism. *Molecular ecology* 10(7):1765-1772. 2001.
40. PORTILLAR, M.; BUSTILLO P., A.E.; BENAVIDES G., M. Introducción de parasitoides para el control de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera:Scolytidae). Medellín : Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología, 1991. 46 p.
41. QUINTERO H., C.; BUSTILLO P., A.; BENAVIDES M., P.; CHAVES C., B. Evidencias del establecimiento de *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* (Hymenoptera : Bethyilidae) en cafetales del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 24(3/4):141-147. 1998.
42. RIVERA E., P.; MONTOYA R., E.C; BENAVIDES M., P. Biología del parasitoide *Prorops nasuta* (Hymenoptera: Bethyilidae) en el campo y su tolerancia a insecticidas. *Cenicafé* 61(2):99-107. 2010.
43. SALAZAR, E.H.M.; BAKER, P.S. Impacto de liberaciones *Cephalonomia stephanoderis* sobre poblaciones *Hypothenemus hampei*. *Cenicafé* 53(4):306-316. 2002.

44. SANTOS M., A.; GONZÁLEZ D., P.E. Bethylidae (Hymenoptera) de Costa Rica y Panamá. [En línea]. San José de Costa Rica : Inbio, 2004. Disponible en internet: <http://www.inbio.ac.cr/papers/bethylidae/general.htm>. Consultado el 6 de Diciembre de 2012.
45. SCHNEIDER O., O. Entomologisches praktikum. Aarau [Switzerland] : H.R. Sauerlander, 237 p. 1947.
46. TOLEDO, A.A. DE; DUVAL, G.; SAUER, H.F.G. A broca do café. O Biológico 13(7):113-118. 1947.
47. TREJO S., A.R.; FÚNEZ, C.R. Evaluación del establecimiento de los parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta* sobre la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*) en 14 años de liberación en Honduras. San Salvador : Congreso internacional de manejo integrado de plagas, 2004. 168 p.
48. TREJO S., A.R. Manejo integrado de la broca del café: Basado en criterios bioecológicos de la broca y el cultivo del café. Santa Bárbara : Instituto hondureño del café, 2005. 44 p.
49. UNRUH, T.R.; WHITE, W.; GONZÁLEZ, D.; GORDH, G.; LUCK, R.F. Heterozygosity and effective size in laboratory populations of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Aphidiidae). Entomophaga 28(3):245-258. 1983.
50. VAN DE P, Y.; DE WACHTER, R. Construction of evolutionary distance trees with TREECON for Windows: Accounting for variation in nucleotide substitution rate among sites. Computer applications in bioscience 13(3):227-230. 1997.
51. VERA, V.L. Parasitoides da broca-do-café no Brasil. Londrina : Workshop internacional manejo da Broca-do-café, 2004. 17 p.
52. VEKEMANS, X.; BEAUWENS, T.; LEMAIRE, M.; ROLDAN R., I. Data from amplified fragment length polymorphism (AFLP) markers show indication of size homoplasy and of a relationship between degree of homoplasy and fragment size. Molecular ecology 11(1):139-151. 2002.
53. VOS, P.; HOGERS, R.; BLEEKER, M.; REIJANS, M.; VAN DE L., T.; HORNES, M.; FRIJTERS, A.; POT, J.; PELEMAN, J.; KUIPER, M. AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. Nucleic acids research 23(21):4407-4414. 1995.
54. YOKOHAMA, M.; NAKAMO, O.; RIGITANO R., L.; NAKAYAMA, K. Situação atual da vespa de Uganda *Prorops nasuta* Waterston, 1923 (Hymenoptera: Bethylidae) no Brasil. Científica 5(3):394. 1978.

EFECTO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA SOBRE *Beauveria bassiana* Y SU VIRULENCIA A LA BROCA

Sandra Patricia Valdés Gutiérrez*; Luz María Escobar López*; Luz América Córdoba Castro*;
Carmenza Esther Góngora Botero**

RESUMEN

VALDÉS G., S.P.; ESCOBAR L., L.M.; CÓRDOBA C., L.A.; GÓNGORA B., C.E. Efecto de la luz ultravioleta sobre *Beauveria bassiana* y su virulencia a la broca. Revista Cenicafé 62(2): 58-68. 2011

Beauveria bassiana presenta un gran potencial como controlador biológico de la broca del café, sin embargo, la eficacia de este microorganismo depende de su persistencia en el campo, la cual se ve afectada por la radiación solar. En estudios en el laboratorio y en el campo se ha observado mayor mortalidad del insecto con una mezcla de cepas que individualmente se consideran de baja virulencia, mezcla Cenicafé (Bb9001, Bb9024 y Bb9119), comparada con la cepa Bb9205 de alta virulencia. Con el fin de determinar si estos resultados están correlacionados con el grado de resistencia de las cepas a luz UV, se realizó una evaluación de resistencia a luz UV de tres cepas de *B. bassiana*, ARSEF (Bb718, Bb1053 y Bb2997), cada una de las cepas que conforman la mezcla (Bb9001, Bb9024 y Bb9119), la mezcla de éstas y la cepa Bb9205. Todas fueron sometidas a luz UV-B, UV-A y luz visible, por 15 min., bajo dosis de irradiancia de 4,38W/m², para la luz UV-B (longitud principal 312 nm) y de 0,009 W.m² para la luz UV-A (longitud principal 365 nm). La luz visible fue suministrada por una lámpara de luz blanca (longitud de onda de >400nm.), encontrándose un mayor porcentaje de resistencia a luz UV en las cepas Bb9205 y Bb9119, en comparación con la mezcla Cenicafé. La eficacia de la mezcla Cenicafé sobre la broca del café en el campo se debe a la expresión de factores relacionados con virulencia en estos hongos combinada con una mediana resistencia a condiciones ambientales.

Palabras clave: Irradiación, Luz UV-A, Luz UV-B, mezcla Cenicafé.

ABSTRACT

Beauveria bassiana has great potential as biological controller of coffee berry borer. However, the effectiveness of this microorganism depends on its field persistence, which is affected by solar radiation. In laboratory and field studies the insect exhibited higher mortality with a mixture of strains that are individually considered to have low virulence, Cenicafé (Bb9001, Bb9024 and Bb9119) mixture, compared with the highly virulent strain Bb9205. In order to determine whether these results correlate with the resistance degree of the strains to UV light, a resistance evaluation was performed to UV light of three strains of *B. bassiana* ARSEF (Bb718, Bb1053 and Bb2997), each of the strains that comprise the mixture (Bb9001, Bb9024 and Bb9119), the mixture thereof and the Bb9205 strain. All were subjected to UV-B, UV-A and visible light for 15 min., under low doses of irradiance of 4.38 W/m² for the UV-B light (main length 312 nm) and of 0.009 Wm² for the UV-A (main length 365 nm) light. A white light lamp (wavelength > 400nm) provided the visible light, and a higher UV resistance percentage was found in strains Bb9205 and Bb9119 compared with Cenicafé mixture. The effectiveness of Cenicafé mixture over the coffee berry borer in the field is due to the expression of virulence factors associated with these fungi combined with medium resistance to environmental conditions.

Keywords: Radiation, UV-A light, UV-B light, Cenicafé mixture.

* Investigadores Asociados. Disciplina de Entomología.

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

El hongo *Beauveria bassiana* (Bálsamo) Vuillemin, ha sido registrado como entomopatógeno de diversas especies de insectos, entre ellas, la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), la principal plaga del café en Colombia (3).

El hongo hace parte de la estrategia de Manejo Integrado de la Broca, propuesta por Cenicafé (7), ya que además de ser un controlador natural de ésta, se encuentra infectando naturalmente el insecto en casi todas las regiones de Colombia. Experimentos llevados a cabo en Cenicafé, han demostrado que el control de la broca en el campo es posible empleando la mezcla Cenicafé, conformada por tres cepas (Bb9001, Bb9024, Bb9119), a dosis desde 1×10^9 esporas/árbol, las cuales pueden causar hasta 67% de mortalidad en los insectos (8).

La mezcla Cenicafé está constituida por cepas que individualmente presentan una baja virulencia, y además difieren genéticamente entre sí, pero que al combinarse, presentan una interacción de sinergia (10), incrementando sus mecanismos de infección e invasión, de tal manera que complementan y reducen la competencia que puede darse entre ellas y superan las defensas del insecto. Vera *et al.* (26) demostraron que la aplicación de esta mezcla a una concentración de 2×10^{10} esporas/L, con una dosis de 50 mL por plato del árbol, sobre frutos infestados dejados en el suelo, disminuye entre 30% y 50% la infestación de brocas en el árbol comparado con el testigo, y causa mortalidades de los adultos al interior de los frutos cercanas al 40%. El efecto real de las aplicaciones del hongo al suelo sobre la infestación en los árboles de café se evaluó en el campo, en la Estación Experimental Paraguaicito (Quindío), donde el hongo causó una disminución de 35% en el número de individuos de la siguiente generación, mientras que en la Estación

Central Naranjal (Caldas) la disminución fue de 84%, con el mayor efecto de la mezcla Cenicafé en ambas localidades, en comparación con otras cepas de *B. bassiana*.

Sin embargo, el desarrollo de *B. bassiana* como micoinsecticida ha sido limitado, debido en gran parte a su alto costo de producción, en comparación con el costo de los plaguicidas químicos, y a que la eficiencia de dicho entomopatógeno depende de su viabilidad y virulencia después de la aplicación en el campo, siendo la radiación solar, particularmente las longitudes de ondas UV-A y UV-B, la principal causa de una baja efectividad del hongo (2, 5, 12). Previamente, en Cenicafé se habían realizado trabajos de selección de cepas por resistencia a Luz UV, evaluando en el campo (23) un aislamiento de *B. bassiana* seleccionado por resistencia a Luz UV en el laboratorio (24), no obstante, éste causo bajas mortalidades sobre la broca del café.

El efecto de la luz UV se debe a que estas longitudes de onda corta retardan o suprimen la germinación de las esporas de los entomopatógenos, debido a daños directos o indirectos en el ADN. El daño directo, resulta de la formación de fotoproductos tales como dímeros de pirimidinas, hidratos de pirimidina y entrecruzamientos entre ADN y proteínas. El daño indirecto se debe principalmente a la aparición de moléculas de oxígeno reactivo (peróxido de hidrógeno, oxígeno singlete y radicales hidroxilos), que oxidan la pentosa presente en el ADN y rompen la hebra de la molécula (11). Ambos tipos de daño interfieren en la replicación normal del ADN, y finalmente producen mutaciones o la muerte de la célula, dependiendo de la cantidad de energía recibida (9).

En algunos Hyphomycetes, la resistencia a la irradiación está dada por un complejo

de genes y es determinado por diferentes factores. Algunos de estos factores son bien conocidos y conservados (16), entre éstos se encuentran: 1. Pigmentos localizados sobre la superficie celular, los cuales permiten bloquear la radiación, tales como melanina y carotenoides estudiados en diferentes especies de hongos (4, 6, 17, 18); 2. Enzimas detoxificantes que pueden inactivar sustancias tóxicas y mutagénicas tales como radicales libres (20); y 3. Enzimas y proteínas involucradas en la protección y reparación de ácidos nucleicos (15, 27). Algunos de estos factores actúan por prevención o reducción del daño a componentes intracelulares como es el caso de los pigmentos, mientras otros sistemas actúan sobre la reparación del daño causado por radiación (5).

Estudios realizados con el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae* y su resistencia a la radiación de luz UV-A y UV-B, indican que la pigmentación verde es importante para la resistencia a luz UV (5), así mismo, en *Aspergillus*, *Ustilago* y *Cryptococcus* se ha demostrado una variabilidad en la resistencia a irradiación de luz UV de acuerdo a la pigmentación de las conidias (1, 28, 29), lo que implicaría la modificación de esta pigmentación en la generación de inóculo más resistente para su uso en el campo (5).

Otro factor responsable de la variabilidad en la resistencia a la irradiación de luz UV-B es el origen geográfico de los aislamientos. Aislamientos obtenidos en sitios de latitudes bajas tienden a ser más resistentes a la radiación de luz UV-B que aislamientos obtenidos en latitudes altas (5). En estudios realizados por Fernandes *et al.* (13) con aislamientos de *Beauveria* spp., se encontró una alta variabilidad entre diferentes aislamientos, con respecto a la resistencia a irradiación UV-B,

en un rango del 0% al 80% de resistencia, y una mayor resistencia en aquellos aislamientos obtenidos en latitudes bajas.

Cárdenas *et al.* (8), encontraron que cepas con baja virulencia sobre la broca del café, como la cepa Bb9024, a una concentración de 1×10^6 esporas/mL, causó mortalidades de 53% en condiciones de laboratorio y del 55% en el campo, mientras que la cepa de alta virulencia Bb9205 en el laboratorio causó mortalidades del 88% y en el campo del 59%, siendo mayor la diferencia en el laboratorio que las observadas en el campo, lo que permite determinar que las condiciones medioambientales tienen un efecto marcado en el desempeño y comportamiento de la cepa en el campo.

Con el propósito de determinar si la mezcla Cenicafé, que causa 100% de mortalidad en el laboratorio y 67% en el campo (8), mostraba alta mortalidad en el campo debido en parte, a una mayor resistencia a condiciones medioambientales, se diseñó el presente experimento que tuvo como objetivo evaluar la resistencia de estas cepas individuales y la mezcla, además de la cepa Bb9205, ampliamente usada para el control de la broca del café en Colombia, y las cepas ARSEF (*Agricultural Research Service Collection of Entomopathogenic Fungi*) localizadas en U.S. Plant, Soil, and Nutrition Laboratory. Cornell University. Ithaca USA, que han sido reportadas por presentar un alto porcentaje de supervivencia a irradiaciones con luz UV (12), en el laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de microorganismos de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, en las instalaciones de Planalto, a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Cepas de *B. bassiana* evaluadas. Para evaluar el efecto de la luz UV se seleccionaron siete aislamientos de *B. bassiana*, correspondientes a: tres cepas codificadas como ARSEF: Bb718, Bb1053 y Bb2997. Estas cepas hacen parte de la colección de hongos entomopatógenos, del servicio de investigación agrícola (ARS) localizada en Ithaca, Nueva York (USA). La literatura reporta que estas cepas presentan un alto porcentaje de supervivencia a irradiaciones con luz UV (11), y además, causan porcentajes de mortalidad (datos no reportados) sobre la broca del café del 68% (cepa Bb718) y del 95% (cepas Bb1053 y Bb2997) bajo condiciones de laboratorio. También se seleccionaron otros cuatro aislamientos provenientes de la colección de hongos entomopatógenos de Cenicafé correspondientes a la cepa Bb9205, reportada con alta virulencia en el laboratorio (8, 10), las cepas Bb9001, Bb9024 y Bb9119, reportadas individualmente con baja virulencia en el laboratorio (8, 10), y la mezcla de las cepas que individualmente son de baja virulencia identificada como mezcla Cenicafé con la cual se ha observado un 100% de mortalidad en el laboratorio y de 67% en el campo (8, 10, 26).

Las cepas estaban criopreservadas en la colección de hongos entomopatógenos de Cenicafé a -80°C en viales con LB y glicerol a 15% y fueron sembradas en cajas petri con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA) e incubadas a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 15 a 20 días hasta esporulación.

Evaluación de inhibición de crecimiento de esporas de *B. bassiana* causado por ácido láctico. Con el fin de identificar las condiciones adecuadas para la evaluación de colonias resistentes a luz UV, se evaluaron diferentes concentraciones de ácido láctico, el cual se utiliza para el control de contaminantes. El propósito fue conocer cuál de estas

concentraciones no causaba muerte de las esporas y reducción en el número de Unidades Formadoras de Colonia (UFC).

La cepa Bb9205.L1 se sembró en cajas de Petri de 90 x 15 mm, en medio de cultivo PDA, y se incubó a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, por 15 días, en oscuridad. Una vez esporulada se realizaron pruebas de germinación en las esporas (19). Con los cultivos con germinaciones de esporas superiores al 95%, se preparó una suspensión de esporas a una concentración de 3×10^3 esporas/mL, de esta dilución se sembraron 100 μl , esparciendo el inóculo sobre la caja con rastrillo bacteriológico, en medio PDA (control), y medio PDA más ácido láctico al 0,50%, 0,25%, 0,10% y 0,05%. Por cada tratamiento se sembraron cinco cajas de Petri. Todos los tratamientos se incubaron durante cinco días a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, período en el cual diariamente se registró el número de colonias crecidas sobre cada caja sembrada.

La variable de respuesta fue el número de unidades formadoras de colonia (UFC). Se estimaron los promedios de UFC y el error estándar por tratamiento, en las cinco repeticiones, tanto de los testigos como de los tratamientos. Se compararon los promedios de las UFC mediante un análisis de varianza.

Evaluación del efecto de luz UV, a diferentes tiempos, sobre la supervivencia de esporas de *B. bassiana*. Con el fin de conocer el tiempo de exposición a luz UV con el que se obtenía un 50% de supervivencia de esporas en la cepa Bb9205.L1, obtenidas de un cultivo en medio PDA, crecido bajo las condiciones anteriormente descritas, fueron resuspendidas en solución de agua y tween al 0,01%, y se llevaron a una concentración de 3×10^2 esporas/ml, y de esta concentración se sembraron 100 ml, esparciendo el inóculo

sobre la caja con rastrillo bacteriológico, en cajas de Petri con medio PDA no acidificado, con el fin de obtener 30 UFC.

Las cajas de Petri conteniendo las esporas fueron expuestas a luz UV-B, luz UV-A y luz visible durante: 0, 10, 15 y 20 minutos. Por cada tiempo se expusieron diez cajas correspondientes a diez repeticiones por tratamiento.

Los cuatro tratamientos evaluados fueron:

1. Irradiación de diez cajas con esporas, durante 10 min. con cada uno de los tres tipos de luz
2. Irradiación de diez cajas con esporas durante 15 min. con cada uno de los tres tipos de luz
3. Irradiación de diez cajas con esporas durante 20 min. con cada uno de los tres tipos de luz
4. Diez cajas con esporas no irradiadas

Como fuente de luz ultravioleta se utilizó la lámpara spectroline modelo XX-15NB (*Spectronics Corporation*), con una irradiancia de $4,38 \text{ W.m}^{-2}$ para la luz UV-B (longitud principal 312 nm) y de $0,009 \text{ W.m}^{-2}$ para la luz UV-A (longitud principal 365 nm). La luz visible fue suministrada por una lámpara de luz blanca, con una longitud de onda mayor a 400 nm. Las mediciones se hicieron con el espectrómetro USB2000, usando la ecuación de Quate *et al.* (21). Posteriormente, se incubaron los cultivos a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 8 días.

La variable de respuesta fue el número de unidades formadoras de colonia (UFC) en cada caja Petri, y se realizó una estimación de promedios de UFC y error estándar por tratamiento, en las diez repeticiones, tanto de los testigos como de los tratamientos en cada réplica biológica. Se compararon los

promedios de las UFC en las tres réplicas biológicas, tanto en los testigos como en los tratamientos, mediante un análisis de varianza.

Evaluación del efecto de luz UV, luego de 15 min. sobre la supervivencia de esporas de *B. bassiana*. Una vez se determinó el tiempo de exposición a Luz UV con el que se obtenía un 50% de supervivencia de esporas en la cepa Bb9205.L1, se realizaron diluciones de esporas a una concentración de 3×10^2 esporas/mL, de las cepas: ARSEF Bb718, ARSEF Bb1053, ARSEF Bb2997, Bb9205, Bb9001, Bb9024, Bb9119 y la mezcla Cenicafé. Para el caso de la mezcla se tomaron 3,3 mL de cada una de las diluciones de las cepas Bb9001, Bb9024, Bb9119 a 3×10^2 esporas/mL, homogeneizando la mezcla en un mismo tubo.

De estas diluciones se sembraron 100 μL en medio PDA y por cada cepa se hicieron 20 cultivos. De cada cepa se incubaron diez cultivos, a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ (testigos), y los otros diez cultivos de cada cepa se irradiaron consecutivamente con los tres tipos de luz, por un período de 15 min. para cada tipo de luz, en el siguiente orden: Luz UV-B, luz UV-A y luz visible, con una dosis final de $3,94 \text{ kJ.m}^{-2}$ para luz UV-B (longitud principal 312 nm), de $0,008 \text{ kJ.m}^{-2}$ para luz UV-A (longitud principal 365 nm) y para la luz blanca longitud de onda mayor a 400 nm. Finalmente, todos los cultivos se incubaron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 5 días, y diariamente se registró el número de UFC. El experimento se repitió tres veces.

La variable de respuesta fue el número de unidades formadoras de colonia (UFC) en cada caja Petri. Para el análisis estadístico se estimó el promedio de UFC y el error estándar por tratamiento, en las diez repeticiones, tanto de los testigos como de los tratamientos en cada réplica biológica. Se compararon los

promedios de las UFC en las tres réplicas biológicas, tanto en los testigos como en los tratamientos mediante un análisis de varianza. Se determinó el radio de supervivencia de cada cepa en cada réplica biológica, determinando que a mayor radio mayor porcentaje de supervivencia. El radio (R) se definió como: $R = \text{Promedio de UFC germinadas en la cepa irradiada} / \text{Promedio de UFC en el testigo no irradiado}$. Finalmente, se obtuvo el promedio de la media de los radios de las tres réplicas por cepa, y se establecieron diferencias entre éstas a través de pruebas de rangos múltiples de Duncan, a un nivel de significancia del 5%, mediante el programa S.A.S.

Los resultados de radios de sobrevivencia de esporas de las diferentes cepas fueron correlacionados con pruebas de virulencia de estas mismas cepas, en el laboratorio y en el campo, previamente reportados por Cárdenas *et al.* (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de inhibición de crecimiento de esporas de *B. bassiana* causado por ácido láctico. La cepa Bb9205 cultivada en medio PDA sin ácido láctico mostró alrededor de 30 UFC, sin embargo, en las cajas que contenían PDA y ácido láctico se observó mortalidad de las esporas, reflejada en una disminución del número de UFC (datos no mostrados). El menor porcentaje de supervivencia se obtuvo con la concentración de 0,50% donde se encontró una supervivencia de 6,5%, mientras

que el control (sin ácido láctico) presentó una supervivencia de 98,4%. De acuerdo con estos resultados se tomó la decisión de realizar la evaluación de irradiación con luz UV sin la aplicación de ácido láctico, en condiciones de asepsia, para evitar la presencia de contaminantes.

Evaluación del efecto de luz UV, a diferentes tiempos, sobre la supervivencia de esporas de *B. bassiana*. La Tabla 1 muestra, el número promedio de UFC de la cepa Bb9205.L1, después de irradiar las esporas por 10, 15 y 20 min., con luz UV-B, luz UV-A y luz visible. El objetivo de esta prueba fue determinar el tiempo de exposición con el que se obtenía una supervivencia de la población de esporas del hongo cercana al 50%, la cual se obtuvo luego de 15 min. de exposición con los tres tipos de luz (54,3%). Por lo tanto, se escogió este intervalo de tiempo para la evaluación de la resistencia a luz UV del resto de las cepas.

Evaluación del efecto de la luz UV, luego de 15 min., sobre la supervivencia de esporas de *B. bassiana*. Los promedios de UFC que representa el número de esporas germinadas de las distintas cepas, después de someterlas durante 15 min. a la irradiación con luz UV-B, UV-A y luz visible se muestran en la Tabla 2. Se observa variación en la respuesta a la radiación entre las diferentes cepas evaluadas, evidenciándose que existen cepas con mayor resistencia.

Tabla 1. Promedio de UFC de *B. bassiana* cepa Bb9205.L1 crecidas en medio PDA, luego de irradiar las esporas con luz UV-B, luz UV-A y luz visible, en diferentes intervalos de tiempo.

Tratamiento	Promedio UFC	D.E.	Supervivencia (%)
Testigo (sin irradiación)	41,0	2,50	100
10 minutos de irradiación	25,8	5,24	62,9
15 minutos de irradiación	22,3	5,29	54,3
20 minutos de irradiación	14,4	4,15	35,1

Tabla 2. Promedios y desviación estandar (D.E.) de UFC por réplica de cada cepa irradiada, por 15 min., con luz UV-B, UV-A y luz visible y UFC de cepas sin irradiar.

Réplicas	Cepa	Irradiadas		Sin irradiar	
		Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
1	ARSEF 1053	6,0	4,55	29,4	5,19
1	ARSEF 2997	4,4	3,17	29,4	3,03
1	ARSEF 718	10,7	4,32	25,9	3,73
1	Bb9001	12,2	2,82	29,8	2,86
1	Bb9024	12,6	2,91	23,1	3,03
1	Bb9119	19,0	1,05	37,3	2,75
1	Mezcla	13,2	2,66	31,2	2,62
1	Bb9205	13,9	2,81	24,8	1,64
2	ARSEF 1053	9,1	1,20	25,2	3,56
2	ARSEF 2997	8,8	0,79	36,6	1,52
2	ARSEF 718	19,0	3,97	40,4	0,55
2	Bb9001	13,3	1,89	28,8	1,30
2	Bb9024	10,3	1,06	23,0	2,00
2	Bb9119	17,5	2,95	32,8	1,48
2	Mezcla	13,5	2,80	30,6	0,55
2	Bb9205	16,9	3,54	28,4	2,79
3	ARSEF 1053	10,3	3,53	26,2	2,17
3	ARSEF 2997	8,8	0,79	32,6	1,14
3	ARSEF 718	15,8	2,97	38,8	2,77
3	Bb9001	10,2	0,63	23,4	2,61
3	Bb9024	11,7	3,62	24,0	1,22
3	Bb9119	13,6	2,59	24,6	1,52
3	Mezcla	11,1	3,75	25,4	2,61
3	Bb9205	13,4	3,57	25,4	4,04

La literatura reporta gran variación de los entomopatógenos a la luz UV. Aún cuando existen aislamientos muy sensibles a dosis altas de radiación, las cuales provocan la mortalidad total de las esporas, todos los aislamientos responden de manera distinta a este efecto. Lo anterior ha permitido clasificarlos en tres grupos: de alta resistencia, resistencia intermedia y sensibles. Una mayor resistencia a la radiación ultravioleta sería una ventaja comparativa para el hongo en el campo, debido a la mayor supervivencia que mostraría y a la mayor eficacia de su acción sobre el insecto al cual iría dirigido el control (25).

Evaluación del efecto de Luz UV, luego de 15 min., sobre la supervivencia de esporas de *B. bassiana*. Las cuantificaciones de los radios de supervivencia de esporas para cada cepa, luego de 15 min. de irradiación con cada tipo de luz (Tabla 3), permitieron diferenciar cuatro grupos de cepas, que difieren estadísticamente entre sí, con respecto a su resistencia a la luz UV.

El primer grupo está conformado por la cepa ARSEF2997, éste presenta el menor número de esporas germinadas y puede considerarse altamente sensible a la radiación UV. Sigue el grupo conformado por la cepa

Tabla 3. Efecto de la radiación de luz UV sobre la supervivencia de cepas de *B. bassiana* y virulencia de éstas en la broca del café.

Cepa	Supervivencia (R) de esporas sometidas a luz UV	Mortalidad (%) de <i>H. hampei</i> en el campo*	Mortalidad (%) de <i>H. hampei</i> en el laboratorio*
ARSEF2997	0,22 A		95,00
ARSEF1053	0,32 B		95,00
ARSEF 718	0,43 C		68,00
Mezcla	0,43 C	66,63	100
Bb9001	0,44 C	54,13	76,67
Bb9024	0,49 CD	55,10	53,33
Bb9119	0,53 D	58,28	73,33
Bb9205	0,56 D	59,60	88,33

-(R) Radio de supervivencia= Promedio de UFC germinadas en la cepa irradiada/ Promedio de UFC germinadas en el testigo no irradiado. (Promedio de tres réplicas). Duncan Alfa:=0,05. Error: 0,0023, gl: 20. Letras no comunes indican diferencias estadísticas significativas. * Datos Cárdenas et al (8). Concentración de esporas 1x10⁶esporas/mL.

ARSEF1053; estas dos cepas ocasionan altos porcentajes de mortalidad (95%) sobre la broca en el laboratorio, sin embargo, con la baja resistencia a la irradiación de luz-UV, es posible inferir que estas cepas no tendrían un buen comportamiento en el campo; no obstante, es necesario evaluarlas en el campo para corroborar los datos obtenidos en este estudio.

Existe un tercer grupo, de resistencia intermedia, en el que se encuentran las cepas ARSEF718, la mezcla Cenicafé, las cepas Bb9001 y la cepa Bb9024. De este grupo se destaca la mezcla Cenicafé, y aunque su porcentaje de resistencia a la luz UV no es el mayor, sí ocasiona, como lo demostraron Cárdenas *et al.* (8), los más altos porcentajes de mortalidad en la broca del café, tanto en el campo (67%) como en el laboratorio 100%. Estos resultados demuestran el alto potencial que tiene esta mezcla para el control del insecto, ya que en el campo, la luz UV causa mortalidad sobre algunas de las esporas del hongo que se asperjan, lo que implica que un menor número de esporas del total aplicado permanecen vivas, sin embargo, aun con un número menor de

esporas se obtuvieron altas mortalidades de la broca. Al comparar esta mezcla con la cepa Bb9295, que mostró mayor resistencia a la luz UV, la cepa Bb9205 al ser asperjada en el campo mantendría más esporas viables que la mezcla, sin embargo ocasiona menores mortalidades (59%) sobre la broca del café, a las obtenidas con la mezcla. De igual forma, queda demostrado que la virulencia de la mezcla Cenicafé está dada por factores intrínsecos, como puede ser el tipo de genes que las tres cepas que conforman la mezcla, expresan en los procesos de infección de la broca, o sus niveles de expresión o las interacciones que se presentan entre ellos, y no por una mayor persistencia o resistencia a condiciones ambientales.

El cuarto grupo está conformado por las cepas Bb9119 y Bb9205, que mostraron la mayor resistencia a la luz UV. Lo que les puede conferir una mayor persistencia y mayor tiempo de acción sobre la broca del café, de aquí su relativo desempeño en el campo.

Aunque se ha mencionado que uno de los factores más importantes que confieren resistencia a la irradiación de luz UV es

la pigmentación de las conidias, Fargues *et al.* (12), al realizar un estudio sobre variabilidad en la resistencia de hongos hyphomycetes a la luz UV, encontraron a *Metarhizium flavoviride*, uno de los hongos con conidias pigmentadas, como aquel que presentó la mayor resistencia a irradiación solar, sin embargo, conidias de *B. bassiana*, las cuales no son pigmentadas, fueron más resistentes a la irradiación que aislamientos de *M. anisopliae* y *Paecilomyces fumosoroseus*, los cuales son altamente pigmentados, resultados que sugieren que en algunas especies, la pigmentación puede no ser importante en la protección de las conidias contra los efectos detrimentales de la irradiación.

Si se tiene en cuenta que uno de los mayores obstáculos para el uso de hyphomycetes como bioinsecticidas es la alta susceptibilidad de estos hongos a la radiación de luz UV, la cual causa una drástica reducción en la viabilidad del inóculo después de un corto período de exposición directa (14, 22, 25), y que dicha reducción incrementa los costos de producción, debido a la necesidad de realizar frecuentes aplicaciones, se puede identificar la mezcla Cenicafé como un promisorio controlador biológico, no solo por su alto porcentaje de virulencia sino por su resistencia a irradiación de luz UV, que muestra todavía un potencial de mejora.

Con este experimento se demuestra que la acción de un entomopatógeno en condiciones de campo, va a depender de la interacción entre el entomopatógeno, el insecto y el medio ambiente, y el mejoramiento de la eficacia consiste en la selección de cepas, las cuales deben ser altamente virulentas y el tipo de formulación que permita realmente incrementar la persistencia del

organismo sin desmejorar su virulencia. Finalmente, el éxito del biocontrolador dependerá de una adecuada combinación de estos dos factores.

Puede concluirse que se logró comprender el comportamiento de la mezcla Cenicafé, la cual muestra una resistencia intermedia a la luz UV, que no interfiere con los altos porcentajes de mortalidad que causa sobre la broca en el campo. El efecto sobre la broca se debe a la expresión de factores relacionados con virulencia y no a una mayor persistencia en el campo, lo cual sugiere el alto potencial de la mezcla, ya que en el campo un menor número de esporas (al compararla con cepas que han mostrado mayor resistencia a la luz UV) estaría ocasionando las mayores mortalidades del insecto, abriendo la posibilidad de mejorar aún más el efecto de este hongo sobre la broca del café, con una adecuada formulación de esta mezcla que incremente la resistencia a la luz UV y persistencia en el campo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por el Convenio de Cooperación Técnica y Científica celebrado entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

LITERATURA CITADA

1. AL R., K.; SEIFERT, A.M. Polysaccharide and protein degradation, germination and virulence against mosquitoes in the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Journal of invertebrate pathology 36:29-34. 1980.
2. ALVES, R.T.; BATEMAN, R.P.; PRIOR, C.; LEATHER, S.R. Effects of simulated solar radiation on conidial germination of *Metarhizium anisopliae* in different formulations. Crop protection 17:675-679. 1998.

3. BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C.; BUSTILLO, A.E. IPM program to control coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, with emphasis on highly pathogenic mixed strains of *Beauveria bassiana*, to overcome insecticide resistance in Colombia. p. 511-540. [En línea]. Manhattan : InTech, 2012. Disponible en internet: <http://www.intechopen.com/books/show/title/insecticides-advances-in-integrated-pest-management>. Consultado el 6 de Diciembre de 2012
4. BARTLEY,G.E.;SCHMIDHAUSER,T.J.;YANOFSKY, C.; SCOLNIK, P.A. Carotenoid desaturases from *Rhodobacter capsulatus* and *Neurospora crassa* are structurally and functionally conserved and contain domains homologous to flavoprotein disulfite oxidoreductases. Journal of biological chemical 265:16020-16024. 1990.
5. BRAGA, G.U.L.; FLINT, S.D.; RANGEL, D.E.N.; MILLER, C.D.; FREIMOSER, F.; ST LEGER, R.J.; ANDERSON, A.J.; ROBERTS, D.W. Damage to fungi from solar/UV exposure and genetic and molecular-biology approaches to mitigation. p. 241-245. En: Proceedings of the International colloquium on insect pathology and microbial control. Brasil : Embrapa, 2002. 312 p.
6. BRAGA, G.U.L.; FLINT, S.D.; MESSIAS, C.L.; ANDERSON, A.J.; ROBERTS, D.W. Effects of UV-B irradiance on conidia and germinants of the entomopathogenic hyphomycete *Metarhizium anisopliae*: A study of reciprocity and recovery. Journal of photochemistry and photobiology 73(2):140-146. 2001.
7. BUSTILLO, A.; CÁRDENAS, R.; VILLALBA, D.; BENAVIDES, P.; OROZCO, J.; POSADA. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 134 p.
8. CÁRDENAS, R.A.; VILLALBA, G.D.; BUSTILLO, A.; MONTROYA, E.; GÓNGORA, C. Eficacia de las mezclas de cepas del hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. Cenicafé 58(4):293-303. 2007.
9. CERDA O., E.; ROJAS, M.; CUBERO, B. Causes of cell death following ultraviolet B and C exposures and the role of carotenes. Journal of photochemistry and photobiology 64:547-551. 1996.
10. CRUZ, L.P.; GAITÁN, A.L.; GÓNGORA, C. Exploiting the genetic diversity of *Beauveria bassiana* for improving the biological control of the coffee berry borer through the use of strain mixtures. Applied microbiology and biotechnology 71(6):918-926. 2006.
11. DIFFEY, B.L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. Physics in medicine and biology 36:299-328. 1991.
12. FARGUES, J.; GOETTEL, M.S.; SMITS, N.; OUEDRAOGO, A.; VIDAL, C.; LACEY, L.A.; LOMER, C.J.; ROUGIER, M. Variability in susceptibility to simulated sunlight of conidia among isolates of entomopathogenic Hyphomycetes. Mycopathologia 135(3):171-181. 1996.
13. FERNANDES, E.K.K.; RANGEL, D.E.N.; BITTENCOURT, V.E.P.; MORAES, A.M.L.; ROBERTS, D.W. Variations in UV-B-irradiation tolerance for *Beauveria* spp. isolates from different latitudes, hosts and substrates. Journal of invertebrate pathology 96(3):237-243. 2007.
14. GARDNER, W.A.; SUTTON, R.M.; NOBLET, R. Persistence of *Beauveria bassiana*, *Nomuraea rileyi*, and *Nosema necatrix* on soybean foliage. Environmental entomology 6:616-618. 1977.
15. GOLDMAN, G.H.; KAUFER, E. *Aspergillus nidulans* as a model system to characterize the DNA damage response in eukaryotes. Fungal genetic biology 41:428-442. 2004.
16. GRIFFITHS, H.R.; MISTRY, P.; HERBERT, K.E.; LUNEC, J. Molecular and cellular effects of ultraviolet light-induced genotoxicity. Critical reviews clinical laboratory sciences 35:189-237. 1998.
17. IGNOFFO, C.M. Environmental factors affecting persistence of entomopathogens. Florida entomologist 75(4):516-525. 1992.
18. LANGFELDER, K.M.; STREIBEL, M.; JAHN, B.; HAASE, G.; BRAKHAGE, A.A. Biosynthesis of fungal melanins and their importance for human pathogenic fungi. Fungal genetic biology 38:143-158. 2003.
19. MARÍN, P.; BUSTILLO, A.E. Pruebas microbiológicas y físico químicas para el control de calidad de hongos entomopatógenos: Curso internacional teórico práctico sobre entomopatógenos, parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 2002. 207 p.
20. MILLER, C.D.; RANGEL, D.E.N.; BRAGA, G.U.L.; FLINT, S.D.; KWON, S.I.; MESSIAS, C.L.; ROBERTS, D.W.; ANDERSON, A.J. Enzyme

- activities associated with oxidative stress in *Metarhizium anisopliae* during germination, mycelia growth, and conidiation and in response to near-UV irradiation. Canadian journal of microbiology 50:41-49. 2004.
21. QUAITE, F.E.; SUTHERLAND, B.M.; SUTHERLAND, J.C. Action spectrum for DNA damage in alfalfa lowers predicted impact of ozone depletion. Nature 358:576-578. 1992.
 22. ROBERTS, D.W.; CAMPBELL, A.A. Stability of entomopathogenic fungi. p. 19-76. En: HOSTETTER, D.L.; IGNOFFO, C.M. Environmental stability of microbial insecticides. Maryland : Entomological society of America, 1977. 119 p.
 23. TOBAR, S.P.; VÉLEZ, P.E.; MONTOYA, E. Evaluación en campo de un aislamiento de *Beauveria bassiana* seleccionado por resistencia a luz ultravioleta. Cenicafé 50(3):195-204. 1999.
 24. TOBAR, S.P.; VÉLEZ, P.E.; MONTOYA, E. Selección en laboratorio de aislamiento de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* por resistencia a la luz ultravioleta. Cenicafé 50(4):327-337. 1999.
 25. VARELA, A.; MORALES, E. Characterization of some *Beauveria bassiana* isolates and their virulence towards the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. Journal of invertebrate pathology 67:147-152. 1996.
 26. VERA, J.T.; MONTOYA, E.; BENAVIDES, P.; GÓNGORA, C. Evaluation of *Beauveria bassiana* Ascomycota : Hypocreales as a control of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* Coleoptera : Curculionidae : Scolytinae emerging from fallen, infested coffee berries on the ground. Biocontrol science and technology 21(1):1-14. 2011.
 27. VERMA, N.C.; SINGH, R.K. Stress-inducible DNA repair in *Saccharomyces cerevisiae*. Environment pathology toxicology and oncology 20:1-7. 2001.
 28. WANG, Y.; CASADEVALL, A. Decreased susceptibility of melanized *Cryptococcus neoformans* to UV light. Apply environment microbiology 60:3864-3866. 1994.
 29. WILL III, O.H.; DIXON, D.; BIRNEY, A.; THOMAS, P.L. Effects of far UV and visible light on germination of wild type and albino teliospores of *Ustilago nuda*. Canadian journal of plant pathology 9:225-229. 1987.

EVALUACIÓN DE HONGOS Y NEMATODOS ENTOMOPATÓGENOS PARA EL CONTROL DE *Dictyla monotropidia* HEMIPTERA: TINGIDAE

Harol Enrique Martínez-Córdoba*; Carlos Mario Ospina Penagos**; Esther Cecilia Montoya Restrepo***; Juan Carlos López Núñez****; Pablo Benavides Machado*****

RESUMEN

MARTÍNEZ C., H.E.; OSPINA P.; C.M.; MONTOYA R., E.C.; LÓPEZ N., J.C.; BENAVIDES M., P. Evaluación de hongos y nematodos entomopatógenos para el control de *Dictyla monotropidia* Hemiptera: Tingidae. *Cenicafé* 62(2): 69-78. 2011

El principal problema del nogal cafetero, *Cordia alliodora*, lo causa la chinche de encaje, *Dictyla monotropidia*. Este insecto produce necrosis y caída prematura de hojas al alimentarse de ellas. Las mayores poblaciones de este insecto se encuentran en períodos secos, donde se pueden alcanzar poblaciones superiores a 1.700 insectos en la parte aérea y 246 en las hojas del suelo. Por lo tanto, se requiere realizar aspersiones a los árboles de insecticidas químicos o biológicos, para el control de las poblaciones de esta chinche. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de hongos y nematodos entomopatógenos en el control de *D. monotropidia* en el laboratorio. Los tratamientos consistieron en productos comerciales de tres géneros de hongos y dos géneros de nematodos entomopatógenos, los cuales se asperjaron en una Torre de Potter. Se evaluó el porcentaje de mortalidad a una temperatura constante de 25°C y humedad relativa de 67,5 ± 2,5%. Hubo diferencias significativas entre tratamientos, siendo los productos Mycotrol® SE, Brocaril® WP y NemaX-S® los que mayores porcentajes de mortalidad ocasionaron a los 5 días después de la aspersión. Se destaca el efecto de NemaX-S®, pues a partir del tercer día de haber sido aplicado el nematodo *Steinernema* sp., el promedio de mortalidad fue significativamente diferente de los testigos, indicando una acción rápida sobre *D. monotropidia*. Los resultados proveen tres opciones biológicas para ser usados en un programa de manejo integrado de *D. monotropidia*.

Palabras clave: Chinche de encaje, *Cordia alliodora*, control biológico, patología de insectos.

ABSTRACT

The main problem of the coffee walnut tree, *Cordia alliodora*, is caused by the lace bug, *Dictyla monotropidia*. This insect feeds on the leaves and produces necrosis and premature leaf fall. The largest populations of this insect are found in dry periods, when more than 1,700 insects can be found in the aerial part and 246 on the ground leaves. Therefore, trees sprays of chemical or biological insecticides are required to control this population. This research work aimed to evaluate the effect of fungi and entomopathogenic nematodes in controlling *D. monotropidia* under laboratory conditions. The treatments consisted of three fungal genera and two nematodes genera commercial products, which were sprayed in a Potter tower. The percentage mortality was evaluated at a constant temperature of 25°C and a relative humidity of 67.5 ± 2.5%. There were significant differences between treatments; Mycotrol® SE, Brocaril® WP and NemaX-S® products caused the highest mortality rates at five days after the spraying. The effect of NemaX-S® stands out since mortality was recorded three days after spraying the *Steinernema* sp. nematode, the average mortality was significantly different from the controls, indicating a rapid action on *D. monotropidia*. The results provide three biological options to best use in an integrated pest management program to control *D. monotropidia*.

Keywords: Lace bug, *Cordia alliodora*, biological control, insect pathology.

* Ing. Agrónomo M.Sc. Disciplina de Entomología, Universidad Nacional de Colombia, Medellín

** Investigador Científico I. Disciplina de Experimentación. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

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

**** Investigador Científico I. Disciplina de Gestión de Recursos Naturales y Conservación. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

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

El nogal cafetero, *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavon) Oken (1883), es la segunda especie nativa de mayor interés en la actividad reforestadora en Colombia, por la calidad de la madera, la adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y edáficas y por servir de sombrío en cultivos de café y cacao (22, 23).

Bajo condiciones de Costa Rica, el nogal cafetero después de fructificar, se defolia totalmente, proceso fisiológico que normalmente se presenta dos veces al año, a partir del tercer año de desarrollo y, generalmente, coincide con los períodos secos de diciembre a febrero y de junio a agosto (16). No obstante, estos árboles también pueden sufrir defoliaciones adicionales por la acción de la chinche de encaje del nogal cafetero, *Dictyla monotropidia* Stal, 1858 (Hemiptera: Tingidae) (2, 22).

El daño que causa *D. monotropidia* a los árboles lo realiza cuando se alimenta del follaje, y al parecer este insecto inyecta una toxina que produce necrosis del tejido, disminución del área de captación de luz y, por consiguiente, disminuye la tasa de fotosíntesis. El mayor ataque se observa en las hojas de los estratos bajo y medio del árbol, y cuando éste es muy severo, se ven afectados todos los estratos, lo que finalmente ocasiona la caída de las hojas (19, 10).

En las plantaciones de *C. alliodora* establecidas en Colombia se han detectado ataques continuos y frecuentes de *D. monotropidia* (23), en los cuales se ha registrado una difícil recuperación de árboles menores de 2 años, menor volumen de producción de madera y se requiere mayor tiempo para el corte de los árboles, lo que conlleva a pérdidas económicas para el productor forestal.

Dictyla monotropidia fue registrada por Brooks (5) en Trinidad. Drake y Cobben (7) registraron la especie *Dictyla parmata* (Distant) en *Cordia corymbosa* (Desv.), *Cordia verbenacea* (D.C.) y *Cochranea anchusaefolia* (Poir.), en Suramérica y en *Cordia cylindrostachia* (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult. en las islas del Caribe, donde además citan a *Dictyla alia* (Drake & Cobben) atacando plantas de *Cordia alba* (Jacq.) Roem. & Schult. Drake y Rukoff (8) y Hochmut y Manso (15) indicaron como distribución para *D. monotropidia*: Brasil, Colombia, Argentina, Venezuela, Bolivia, Paraguay, Ecuador, Panamá, Salvador, Puerto Rico y Trinidad. En estudios realizados por Cenicafé, a lo largo de la zona cafetera nacional, se detectó la presencia de la chinche desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta Gigante en el departamento del Huila (13).

Son escasos los estudios de biocontroladores que existen para el manejo de este insecto plaga; sin embargo, existen microorganismos con capacidad para controlar diferentes especies de órdenes en la clase Insecta, siendo los más utilizados los hongos entomopatógenos. El hongo entomopatógeno comercialmente más utilizado alrededor del mundo es *Beauveria bassiana* (Ascomycete: Hypocreales), por atacar un alto rango de insectos plaga (14). La infección inicia con la adhesión de las esporas sobre el integumento; éstas germinan y penetran mediante un proceso físico y químico que involucra la producción de enzimas, posteriormente, el hongo invade la cavidad hemocélica del insecto y ocasiona su muerte, debido a deficiencias nutricionales, destrucción de los tejidos y por la liberación de toxinas (29). Después de este proceso y de acuerdo a condiciones de temperatura y humedad relativa se presenta la esporulación del hongo.

Otro de los hongos reportado como biocontrolador es *Metarhizium anisopliae*, el cual se encuentra ampliamente distribuido en el mundo. Éste afecta siete órdenes de insectos, preferentemente a especies del orden Coleoptera, de las familias Curculionidae, Scarabeidae, Chrysomelidae; así como hemípteros de la familia Cercopidae y especies del orden Orthoptera, como las langostas africanas de la familia Acrididae (33).

En el campo, se ha reportado como hongo controlador a diferentes especies del género *Paecilomyces*, el cual se desarrolla rápidamente sobre todos los estadios de insectos hemimetábolos, completando su ciclo de vida a las 120 horas (21). El hongo *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith se registra como agente de control para insectos de 25 familias distintas, incluyendo 41 especies (27).

Otra opción de control biológico de *D. monotropidia* son los nematodos entomopatógenos. En este caso los nematodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae pueden infectar un amplio rango de hospedantes en forma natural, incluyendo la mayoría de especies de insectos, extendiéndose también a otros invertebrados (Gastrópoda, Symphyla, Arachnida, Crustacea y Diplopoda). Sin embargo, por comportamiento y barreras ecológicas, su efectividad se reduce a insectos que habitan en el suelo o aquellos que poseen hábitats crípticos (4, 11); además, los estados juveniles infectivos (JI) o “dauer” de tercer estadio no se alimentan y dependen de sus reservas internas como fuente de energía (3). Los nematodos ingresan a su hospedante por aberturas naturales (boca, ano y espiráculos) y vía cuticular, en el caso de *Heterorhabditis* spp. (26).

Las pocas experiencias de manejo de *D. monotropidia* se basan en el uso de

insecticidas organofosforados y piretroides, sin tener en cuenta el impacto ambiental y el efecto sobre la fauna benéfica. Además, no existen registros del efecto de agentes biológicos contra la plaga de mayor importancia económica del nogal cafetero, la cual es la especie nativa de mayor aceptación y uso en Colombia en programas de reforestación comercial. Por lo tanto, esta investigación se realizó con el fin de explorar alternativas de control biológico como los hongos y nematodos entomopatógenos, agentes de uso frecuente en programas de manejo integrado de plagas en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se realizó en el laboratorio de la Disciplina de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, a una temperatura constante de 25°C y humedad relativa de 67,5 ± 2,5%.

Se establecieron 12 tratamientos que consistieron en ocho formulaciones de hongos y dos de nematodos entomopatógenos, los cuales se compararon con un testigo relativo con agua estéril y aceite agrícola Carrier® y con un testigo absoluto (Tabla 1). Los tratamientos fueron aplicados en una Torre de Potter marca Burkard Manufacturing Co., calibrada con un volumen de 2 mL a 10 libras de presión.

Cada unidad experimental estuvo conformada por una caja Petri de 9 cm de diámetro con papel filtro humedecido (30) y una hoja de nogal, conteniendo diez adultos de *D. monotropidia*. Por cada tratamiento se tuvieron seis repeticiones. Una vez dispuestas todas las unidades experimentales, se hizo una asignación de los tratamientos bajo el diseño experimental completamente aleatorio, en el laboratorio de la Disciplina de Entomología.

Tabla 1. Hongos y nematodos entomopatógenos evaluados para el control de *D. monotropidia* en el laboratorio y concentración utilizada.

Tratamiento	Producto*	Ingrediente activo	Concentración
1	Micosis® WP	<i>Beauveria bassiana</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
2	Baforest® WP	<i>B. bassiana</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
3	Mycotrol® SE	<i>B. bassiana</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
4	Brocaril® WP	<i>B. bassiana</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
5	Metatropico® WP	<i>Metarhizium anisopliae</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
6	Metarhiplant® WP	<i>M. anisopliae</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
7	Lilaciplant® WP	<i>Paecilomyces lilacinus</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
8	Paeciloplant® WP	<i>P. fumosoroseus</i>	1 x 10 ⁷ e/mL
9	NemaX-S®	<i>Steinernema</i> sp.	3.086 JI/mL
10	NemaX®	<i>Heterorhabditis</i> sp.	1.683 JI/mL
11	Testigo relativo (Agua estéril + Carrier®) (1 mL.L ⁻¹ agua estéril)		
12	Testigo absoluto		

* Las formulaciones de los hongos entomopatógenos se sometieron a prueba de pureza, germinación y concentración de esporas según metodología de Vélez *et al.* (30) y a los nematodos entomopatógenos se les verificó la virulencia en larvas de *Galleria mellonella* L. y la viabilidad de los Juveniles Infeccivos.

Se asperjaron los hongos entomopatógenos a una concentración de 1 x 10⁷ e/mL. Los nematodos entomopatógenos fueron usados en la concentración estimada de Juveniles Infeccivos (JI) (Tabla 1). El alimento consistió en una hoja de *C. alliodora*, la cual se reemplazó cada tres días. Estas hojas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5%.

Una vez se aplicaron todos los tratamientos y se conformaron las unidades experimentales, se registró el número de insectos muertos durante 10 días. Con el fin de corroborar que la mortalidad observada era causada por el tratamiento en evaluación, cada insecto muerto de los tratamientos de hongos entomopatógenos se llevó a cámara húmeda, que consistió en un frasco pequeño de 4 cm de altura por 2 cm de base, con un papel toalla humedecido en el fondo y tapado con algodón. Para los tratamientos con nematodos entomopatógenos, cada insecto muerto se llevó a cámara White (31). La variable de respuesta se definió como el porcentaje de

insectos muertos por el entomopatógeno. Los testigos relativo y absoluto fueron propuestos con fines de comparación y para descartar la posibilidad de que el agua más Carrier® causaran mortalidad en los insectos.

Como hipótesis de trabajo se consideró que al menos una de las formulaciones de los hongos entomopatógenos *B. bassiana*, *M. anisopliae* y *Paecilomyces* spp. o los nematodos comerciales, causarían una mortalidad de *D. monotropidia* mayor al 70%.

Con la variable de respuesta se estimó el promedio y el error estándar en cada tratamiento; se verificó que el promedio de mortalidad en los testigos fuera estadísticamente menor del 10%, según prueba t al 5%, y se corrigió el porcentaje de mortalidad a los 5 días de aplicados los tratamientos con respecto a los testigos. Para determinar las diferencias entre tratamientos, se realizó un análisis de varianza bajo el modelo de análisis del diseño experimental completamente aleatorio al 5%, y para determinar diferencias entre

los tratamientos y los testigos se realizó una prueba Dunnett al 5%, para seleccionar los mejores tratamientos (mayor porcentaje de mortalidad). Se reagruparon los tratamientos de acuerdo con los porcentajes de mortalidad corregida y se realizó una prueba de contraste al 5%. Para el análisis de los datos se empleó el programa estadístico SAS versión 9,2 (25).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó el efecto de diez productos biocontroladores para el manejo de poblaciones del insecto *D. monotropidia* asperjados en Torre de Potter sobre insectos adultos y se encontró que durante los tres primeros días después de la aplicación, los mayores porcentajes de mortalidad promedio fueron ocasionados por los nematodos, al quinto día hubo mortalidades significativas causadas por los nematodos y los productos cuyos ingredientes activos eran *B. bassiana* y *M. anisopliae*; a partir del séptimo día se encontraron diferencias de todos los entomopatógenos con respecto

a los testigos relativo y absoluto (Tabla 2). Estos resultados sugieren que los nematodos posiblemente actúan más rápido; sin embargo, todos los tratamientos evaluados ocasionaron mortalidades superiores a los testigos a partir del día siete. Para explicar esto se debe considerar que la velocidad de infección involucra la penetración de los hongos en su hospedante, la cual depende de la duración de la germinación, la agresividad del agente natural, la susceptibilidad del hospedante y el tipo de espora (24), la cual a su vez puede ser alterada por la presencia de fenoles, quinonas y lípidos (28), así como por las condiciones de humedad ambiental, temperatura, luz y compuestos nutricionales (29). Una vez las estructuras del hongo se encuentren en el interior del insecto, la infección dependerá del potencial genético del hongo para crecer y de los mecanismos de defensa del insecto (14). Después de muerto el insecto, si las condiciones ambientales son favorables, los hongos entomopatógenos esporulan sobre el insecto o quedan las estructuras del hongo

Tabla 2. Promedio (Prom.) y error estándar (E.E.), para el porcentaje de insectos de *D. monotropidia* muertos, a los 3, 5 y 7 días después de la aspersión de los tratamientos.

Tratamientos	Días después de la aplicación								
	3 días		5 días		7 días				
	Prom.	E.E.	Prom.	E.E.	Prom.	E.E.			
Micosis® WP	10,2	4,8	35,6	13,3	60,9	* **	8,8		
Baforest® WP	11,7	1,7	45,0	5,6	73,3	* **	6,7		
Mycotrol® SE	21,7	6,5	77,6	6,5	82,6	* **	6,7		
Brocaril® WP	17,4	6,7	78,3	8,7	88,3	* **	5,4		
Metatropico® WP	13,3	7,6	57,7	9,8	61,3	* **	8,1		
Metarhiplant® WP	16,7	9,2	65,0	10,2	90,0	* **	3,7		
Lilaciplant® WP	15,0	5,6	23,3	4,2	80,0	* **	5,8		
Paeciloplant® WP	6,7	3,3	16,9	8,0	58,9	* **	8,0		
NemaX-S®	61,7	* **	3,1	76,7	* **	5,6	81,5	* **	6,0
NemaX®	25,4	4,2	54,3	* **	7,6	67,6	* **	6,8	
Testigo relativo	6,7	2,1	6,7	2,1	11,7		4,8		
Testigo absoluto	13,3	3,3	8,3	4,0	15,0		4,3		

* Diferencias con el testigo absoluto, según prueba de Dunnett al 5%.

**Diferencias con el testigo relativo, según prueba de Dunnett al 5%.

dentro del cadáver hasta que las condiciones ambientales favorezcan su esporulación y diseminación (29).

Con el fin de seleccionar el mejor producto biológico para ser usado en el control de *D. monotropidia*, se consideraron los valores de mortalidad 5 días después de aplicados los tratamientos. Esto dado que los testigos relativo y absoluto fueron menores del 10% a este tiempo y por haberse registrado mortalidades superiores al 70% como se esperaba en la hipótesis de trabajo. Se corrigieron las mortalidades de los tratamientos, que fueron significativamente diferentes de los testigos y se agruparon de acuerdo con los porcentajes de mortalidad corregida. Se determinó, según prueba de contraste al 5%, que los tratamientos con mayor promedio de mortalidad fueron los tratamientos NemaX-S[®], Mycotrol[®] y Brocaril[®] (Tabla 3).

Los entomopatógenos presentan la ventaja biológica de que se reproducen y multiplican, de acuerdo a la presencia de hospedantes y condiciones climáticas favorables. Aunque con el tiempo disminuya la fuente de inóculo que cause estas patologías en los insectos, es importante resaltar que al

disminuir el número de aplicaciones de productos con actividad insecticida, se disminuyen también los costos de manejo del insecto plaga. En algunos casos, como lo reportan Enkerli *et al.* (9), los hongos entomopatógenos aplicados actúan como agentes de control biológico clásico y cita como ejemplo a *B. brongniartii* (Saccardo) Petch, el cual fue asperjado en pastizales y huertos de Suiza para controlar el escarabajo *Melolontha melolontha* L., y posteriormente, fue detectado en el suelo después de 14 años. Zelger (32) considera que la aplicación del producto biológico contribuyó al éxito obtenido en el control de la plaga.

Unas de las características importantes de un buen entomopatógeno es su patogenicidad y habilidad para causar epizootias, resistir condiciones físicas (radiación UV, temperaturas altas, desecación) y poseer mecanismos de defensa frente a otros microorganismos. En el caso específico de los hongos, para la germinación de las esporas se requiere una humedad ambiental por lo menos del 90%, pero si ésta persiste, afecta su longevidad. El suelo es el mejor hábitat para los entomopatógenos ya que el follaje los protege de la luz y les proporciona humedad (6).

Tabla 3. Promedios (Prom.) y error estándar (EE) para el porcentaje de mortalidad corregida de *D. monotropidia*, a los 5 días después de la aspersión.

Grupo	Tratamiento	Promedio	EE
1	NemaX-S [®]	74,5	6,1
	Mycotrol [®]	75,6	7,1
	Brocaril [®]	76,4	9,5
Promedio		75,5	A
2	Baforest [®]	40,0	6,1
	NemaX [®]	50,1	8,3
	Metatrópico [®]	53,9	10,7
	Metarhiplant [®]	61,8	11,2
Promedio		51,5	B

Letras no comunes implica diferencias entre promedios, según prueba de contraste al 5%.

Las evaluaciones de confirmación de los agentes de mortalidad de los insectos fue registrada por la esporulación de los hongos en los adultos muertos de *D. monotropidia* en condiciones de cámara húmeda, principalmente las formulaciones de los hongos entomopatógenos *B. bassiana* Mycotrol® y Brocaril® y *M. anisopliae* Metarhiplant® (Figuras 1 a, b y c). Igualmente se observó reproducción y multiplicación del nematodo *Steinernema* sp. en la chinche de encaje (Figura 1d). Esto es una característica favorable, debido a que al multiplicarse el nematodo, las nuevas generaciones de Juveniles Infeccivos podrán localizar nuevos hospedantes para continuar su ciclo biológico, lo cual se busca que ocurra en el campo. Se ha reportado que una sola unidad infectiva de un nematodo (Juvenil 3 o “dauer”) puede causar la muerte del insecto, debido particularmente a una relación mutualista que el nematodo guarda con su simbiote bacteriano, el cual ocasiona la muerte del insecto durante las 72 horas siguientes a la infección, le proporciona alimento al nematodo y éste a su vez hace las veces de vector de la bacteria,

sirviéndole de transporte de un insecto a otro (12, 18). Resultados de investigaciones donde se han evaluado biocontroladores en otros hemípteros como *Aeneolamia varia* (Hemiptera: Cercopidae), plaga de pasturas, se han encontrado mortalidades entre el 46% y el 63%, utilizando concentraciones de $3,6 \times 10^7$ e/mL de *Metarhizium anisopliae* (1, 20). En este sentido, Leite *et al.* (17), reportan patogenicidad desde 96% al 100% de seis nematodos entomopatógenos, al evaluarlos en el laboratorio sobre el hemíptero plaga *Mahanarva fimbriolata* Fabr. (Hemiptera: Cercopidae), en caña de azúcar, con porcentajes de control del 74%, con aplicaciones inundativas de *Heterorhabditis* sp. en el campo.

La escasa experiencia técnica para el manejo de *D. monotropidia* en Colombia se basa en la aspersión de insecticidas organofosforados y piretroides, sin tener en cuenta umbrales de daño económico (13), impacto ambiental o efecto sobre la fauna benéfica. De esta manera, con el uso de entomopatógenos para el control del insecto plaga se contribuiría a disminuir las poblaciones de la chinche, a

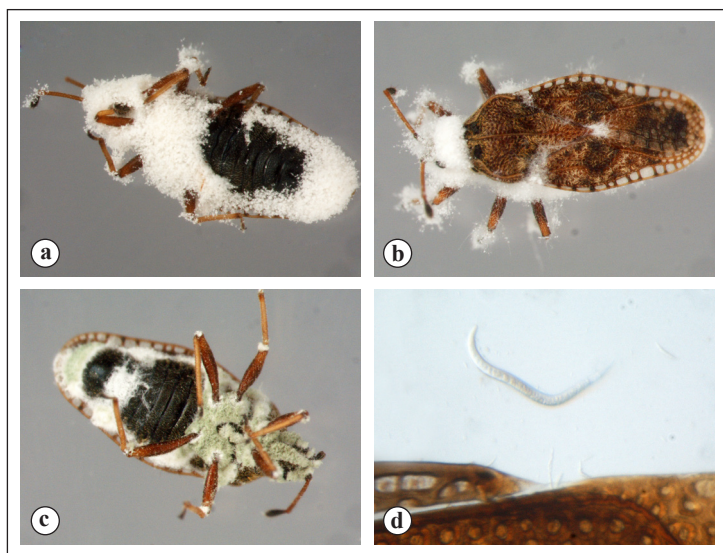


Figura 1. a. *Beauveria bassiana* Mycotrol®; b. *B. bassiana* Brocaril®; c. *Metarhizium anisopliae* Metarhiplant®; d. J3 emergida de estados adultos de *D. monotropidia* infectados por *Steinernema* sp.

reducir la aplicación de insecticidas de síntesis química derivados del petróleo y a evitar la resistencia a insecticidas. Igualmente, los productores serían más racionales con el manejo de insectos en este tipo de agroecosistemas silviculturales y silvopastoriles.

La defoliación del nogal cafetero es fisiológicamente normal y coincide con periodos secos (16), pero se acelera por el daño causado por *D. monotropidia*. Por esta razón, sería necesario evaluar estos entomopatógenos en el campo, teniendo en cuenta los diferentes escenarios que presenta la variabilidad climática. Es importante tener presente las condiciones de humedad del suelo para crear un ambiente favorable a la multiplicación y patogenicidad de los agentes microbiológicos. Adicionalmente, se recomienda la evaluación de técnicas de aplicación al suelo de los entomopatógenos promisorios, oportunidad de aplicación y fenología del cultivo y de la plaga con el fin de tener claridad en los criterios para la toma de decisiones, en el control de las poblaciones del insecto en plantaciones de nogal cafetero.

En este trabajo de investigación se evidencia la importancia de la especie y la cepa de los entomopatógenos en la mortalidad que ocasionan a la chinche de encaje. Sin embargo, se sugiere para los trabajos de campo, evaluar diferentes equipos de aspersión y de boquillas y realizar aspersiones dirigidas, debido a que las poblaciones de *D. monotropidia* se ubican en el envés de las hojas. También se sugiere realizar pruebas de aplicación al suelo en la base de los árboles al momento de caer las primeras hojas infestadas, evitando así el desplazamiento de la chinche hacia las ramas bajas y el inicio de nuevas infestaciones.

De esta investigación se concluye que las formulaciones que presentaron mayor eficacia

a nivel de laboratorio fueron el nematodo NemaX-S® y los hongos Mycotrol® y Brocaril®, y se recomiendan para ser evaluados sobre poblaciones de *D. monotropidia* en el campo. Considerando que las condiciones edáficas y climáticas en las que se desarrollan las plantaciones de *C. alliodora* son favorables para los entomopatógenos, puede convertirse ésta en una alternativa para el control de *D. monotropidia*, integrándolas a prácticas agronómicas complementarias.

AGRADECIMIENTOS

A Cenicafé, a los investigadores Patricia Marín, Luis Miguel Constantino, Diógenes Villalba y al personal de la Disciplina de Entomología, a la investigadora Eliana Rincón y al personal del Programa ETIA-Forestal, por su valiosa colaboración en esta investigación. Esta investigación fue cofinanciada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, convenio 050 proyecto 2007K4683-528-07 “Propuesta de manejo integrado del chinche de encaje *Dictyla monotropidia* en plantaciones de nogal cafetero *Cordia alliodora* ubicadas en la zona centro sur del departamento de Caldas”.

LITERATURA CITADA

1. ARANGO, G.; TORRES, C.; LAPIONTE, S. Patogenicidad de tres cepas de *Metarhizium anisopliae* sobre huevos y ninfas de *Aeneolamia varia* (Fabricius) (Homoptera: Cercopidae). Revista colombiana de entomología 20(1):43-46. 1994.
2. ARGUEDAS, M.; FALLAS, E. La chinche de encaje del laurel *Dictyla monotropidia*. Cartago: Centro de información tecnológica del Instituto tecnológico de Costa Rica, 1993. 4 p. (Serie plagas y enfermedades No. 7).
3. BEDDING, R.A.; AKHURST, R.J. A simple technique for the detection of insect parasitic rhabditida nematodes in soil. Nematologica 21(1):109-110. 1995

4. BEGLEY, J.W. Efficacy against insect in habitats other the soil. p. 215-231. GAUGLER, R.; KAYA; H.K. Entomopathogenic nematodes: Biological control. Florida : CRC Press, 1990. 365 p.
5. BROOKS, R.L. Notes on attacks of *Monanthia monotropidia* Stal in Trinidad. Caribbean forester 2(1):7. 1941.
6. CARDONA, C. Entomología económica y manejo de plagas. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agropecuarias, 1999. 99 p.
7. DRAKE, C.J.; COBBEN, R.H. The Heteroptera of Netherlands Antilles. V. Tingidae. Studies on the fauna of Curacao and other Caribbean Islands 11(54):67-69. 1960.
8. DRAKE, C.J.; RUKOFF, F. A Lacebugs of the Word: A catalog (Hemiptera: Tingidae). Washington : Smithsonian institute, 1965. 643 p.
9. ENKERLI, J.; WIDMER, F.; KELLER, S. Long- term persistence of *Beauveria brongniartii* strains applied as biocontrol agents against European cockchafer larvae in Switzerland. Biological control 29(1):115-123. 2004
10. FALLAS, E.; ARGUEDAS, M.; BRICEÑO, R. Dispersión y métodos de cría de *Dictyla monotropidia* (Hemiptera: Tingidae). Revista de biología tropical 41(3):509-513. 1993.
11. GEORGIS, R.; HAGE, N.G.M. Nematodes as biological insecticides. Pesticide outlook 2:29-32. 1991.
12. GLAZER, I.; LEWIS, E.E. Bioassays for entomopathogenic nematodes. p. 229-247. En: NAVON, A.; ASCHER, K.R.S. Bioassays for entomopathogenic microbes and nematodes. Wallingford : CAB International, 2000.
13. GÓMEZ, D.; OSPINA, C. Diagnóstico de enfermedades en plantaciones de nogal cafetero (*Cordia alliodora*) y Chaquiro (*R. rospigliosii*) en la zona cafetera colombiana. p. 31-32. En: Memorias XXIV congreso de fitopatología. Armenia : ASCOLFI, 2003.
14. GÓNGORA, C.E. Los hongos entomopatógenos en el control de insectos. p. 133-149. En: Bustillo P.; A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : FNC : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
15. HOCHMUT, R.; MANSO, D.M. Protección contra las plagas forestales en Cuba. La Habana : Instituto cubano del libro, 1975. 290 p.
16. JOHNSON, P.; MORALES, R. A review of *Cordia alliodora* (R & p) Oken. Turrialba 22(2):210-220. 1972.
17. LEITE, L.G.; MACHADO, L.A.; GOULART, R.M.; TAVARES, F.M.E.; FILHO, A.B. Screening of entomopathogenic nematodes (Nemata: Rhabditida) and the efficiency of *Heterorhabditis* sp. against the sugarcane root spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Fabr.) (Hemiptera: Cercopidae): Biological Control. Neotropical entomology 34(5):785-790. 2005.
18. LÓPEZ N., J.C. Nematodos para el control de insectos plagas. p. 150-183. En: Bustillo P.; A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : FNC : CENICAFÉ, 2008. 466 p.
19. MADRIGAL, C.A. Biología, hábitos, y distribución en Antioquia de la chinche de encaje *Dictyla monotropidia* Stal (Hemiptera: Tingidae) en nogal cafetero *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón). Revista colombiana de entomología 13(1):3-11. 1987.
20. MORENO, A.C.; UMAÑA, M.I. Aspectos de la biología y patogenicidad del hongo *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin, sobre *Aeneolamia varia* (F). Revista ICA 23(3):155-161. 1988.
21. OSBORNE, L.S.; LANDA, Z. Biological control of whiteflies with entomopathogenic fungi. Florida entomologist 75(1):456-471. 1992.
22. OSPINA P., C.M.; HERNÁNDEZ R., R.J.; SÁNCHEZ O., F.A.; RINCÓN, E.A.; RAMÍREZ C., C.A.; GODOY B., J.A.; MEDINA O., J.A.; OBNADO B., D. El nogal cafetero *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken: Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona Andina colombiana. Chinchiná : FNC : CENICAFÉ, 2010. 48 p.
23. PROCUENCA En marcha: Proyecto forestal para la cuenca del río Chinchiná. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 4 p. (Boletín Técnico No. 26).
24. SAMSON, R.; EVANS, H.; LATGÉ, J. Atlas of entomopathogenic fungi. Berlin : Springer-Verlag, 1988. 300 p.
25. SAS. SAS/STAT User's guide 9.2 version. New York : SAS Institute, 2008.
26. SMART, G.C. Jr. Entomopathogenic nematodes for the biological control of insects. Journal of nematology 27(4Supl):529-534. 1995.

27. SMITH, P. Control of *Bemisia tabaci* and the potential of *Paecilomyces fumosoroseus* as a biopesticide. *Biocontrol news & information* 14:71-78. 1993.
28. SMITH, R.J.; GRULA, E.A. Nutritional requirements for conidia germination and hyphal growth of *Beauveria bassiana*. *Journal of invertebrate pathology* 88(1):1-7. 1981.
29. TANADA, Y.; KAYA, H. *Insect pathology*. California : Academic press, 1993. 666 p.
30. VÉLEZ, A.P.; POSADA F., F.J.; MARÍN M., P.; GONZÁLEZ G., M.T.; OSORIO V., E.; BUSTILLO P., A.E. Técnicas para el control de calidad de formulaciones de hongos entomopatógenos. Chinchiná: CENICAFÉ: FNC, 1997. 34 p. (Boletín Técnico No. 17).
31. WHITE, G.F. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science* 66:302-303. 1927.
32. ZELGER, R. The population dynamics of the cockchafer in South Tyrol since 1980 and measures applied for control. *IOBC/WPRS bulletin* 19(2):109-113. 1996.
33. ZIMMERMANN, G. *Metarhizium anisopliae* an entomopathogenic fungus: *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer*. *Biological crop protection* 45(63):113-128. 1992.

IMPACTO DE LA EROSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ

Edgar Hincapié Gómez*; Luis Fernando Salazar Gutiérrez**

RESUMEN

HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Impacto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café. Revista Cenicafé 62 (2): 79-89. 2011

La erosión del suelo es considerada el principal problema agrícola y ambiental que amenaza la calidad y productividad de los recursos suelo y agua, especialmente en zonas de ladera. Con el fin de evaluar el efecto de la erosión sobre la calidad del suelo y la producción de café, se compararon las propiedades físicas y químicas y la producción de café, registradas en parcelas con diferentes grados de erosión. El estudio se realizó en la Estación Experimental El Rosario, en Venecia (Antioquia), en suelos de la unidad Venecia (*Typic Dystropept*). En un terreno con signos de erosión, se sembró un cultivo de café variedad Colombia y se establecieron ocho tratamientos, en cuatro fases de erosión: muy leve, leve, moderada y severa, combinadas con dos sistemas de manejo, suelo libre de coberturas y con coberturas. En cada unidad experimental se evaluaron las propiedades físicas, hidráulicas y químicas y se registró la producción de café durante tres cosechas. Dentro de una misma fase de erosión no hubo efecto del sistema de manejo sobre las variables evaluadas, se registró el efecto de las fases de erosión sobre las propiedades densidad aparente, porosidad total, estabilidad estructural, distribución de agregados en seco, distribución de partículas por tamaño, retención de humedad, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. La producción de café en las parcelas con erosión severa se redujo en promedio el 51% en comparación con las parcelas con erosión muy leve, 60% en comparación con parcelas con erosión leve y 54% comparada con las parcelas con erosión moderada.

Palabras clave: Erosión hídrica, calidad del suelo, producción de café, agricultura sostenible.

ABSTRACT

Soil erosion is considered the main agricultural and environmental problem that threatens the quality and productivity of soil and water resources, especially on slopes. In order to evaluate the effect of erosion on soil quality and coffee production, the physical and chemical properties and coffee production recorded in plots with different degrees of erosion were compared. The study was conducted at the Experimental Station El Rosario, in Venecia (Antioquia) in soils of the Venecia unit (*Typic Dystropept*). A Colombia variety crop was planted in a terrain with signs of erosion and eight treatments were established in four erosion phases: slight, mild, moderate and severe combined with two management systems, cover-free floor and covered floor. In each experimental unit physical, hydraulic and chemical properties were evaluated and coffee production was recorded during three harvests. Within an erosion phase the management system had no effect on the evaluated variables, the effect of the erosion phases on the bulk density soil properties, total porosity, structural stability, dry aggregate distribution, particle distribution by size, moisture retention, organic matter content and cation exchange capacity were all recorded. Coffee production in the plots with severe erosion was reduced on average by 51% compared to the plots with very slight erosion, 60% compared to the plots with slight erosion and 54% compared to plots with moderate erosion.

Keywords: Water erosion, soil quality, coffee production, sustainable agriculture.

* Investigador Científico I. Disciplina de Suelos (Hasta junio de 2012).

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

La erosión del suelo definida como el proceso de desprendimiento, transporte y depósito de los agregados o partículas del suelo por efecto de agentes erosivos como el agua, se considera la mayor amenaza para la degradación de los recursos suelo y agua, y a su vez, puede afectar adversamente la calidad y productividad del recurso edáfico, especialmente en áreas susceptibles a procesos de degradación (19, 20). En Colombia, el cultivo de café se localiza principalmente en regiones de ladera, con predominio de altas precipitaciones y de suelos jóvenes, factores que favorecen la erosión y que, sumado al uso y manejo inadecuados del suelo, aceleran el proceso hasta alcanzar niveles avanzados que afectan la sostenibilidad y productividad (11).

La erosión puede tener impacto negativo tanto en el sitio donde ocurre como fuera de éste; los principales impactos en el sitio son la degradación de las propiedades físicas, hidrológicas, químicas y biológicas del suelo y, por lo tanto, el detrimento en la producción de los cultivos, mientras que fuera del sitio los principales impactos están relacionados con la sedimentación en ríos y embalses, deterioro de la calidad del agua y cambios en los patrones hidrológicos, entre otros (20).

Lal (18), Malhi *et al.* (26), Olson *et al.* (32), Larney *et al.* (23), Larney y Janzen (22), Arriaga y Lowery (1), Polyakov y Lal (35) y Larney *et al.* (24), reportan efectos de la erosión sobre la degradación de las propiedades físicas y químicas de los suelos, especialmente sobre la reducción de la profundidad del perfil, de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, y disminución en el contenido de materia orgánica y nutrimentos. Nizeyimana y Olson (30) encontraron que la erosión del suelo afecta negativamente la retención de humedad y la

capacidad de almacenamiento de agua en el suelo; Frye *et al.* (10) reportan incrementos de la densidad aparente; Battison *et al.* (3) y Lowery *et al.* (25) reportan cambios en la textura y la conductividad hidráulica, mientras que Rhoton y Tyler (36) y Fenton *et al.* (8) reportan reducción del contenido de carbono orgánico y de nutrimentos debidos a la erosión.

La determinación de la relación entre la erosión y la productividad del suelo es compleja, debido a que las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste no son los únicos factores que influyen en la producción de los cultivos, además el impacto de la erosión puede ser parcialmente compensada con la adición de materia orgánica, fertilizantes, utilización de prácticas culturales que mejoren la relación de aire del suelo y la infiltración del agua, y por el continuo incremento del nivel tecnológico, implicados en la producción de los cultivos (5, 8, 18, 34).

Existen varios métodos para cuantificar los efectos de la erosión sobre la calidad y productividad de los cultivos, tales como la remoción de capas de suelo seguido de ensayos comparativos de crecimiento y rendimiento de los cultivos (9, 21, 23, 26, 27), la adición de diferentes cantidades de suelo a un suelo severamente erosionado (28, 32) o la comparación de la producción obtenida a nivel de campo en suelos con diferentes grados de erosión natural, donde sea posible estimar la erosión pasada y conocer la historia del manejo del suelo y de los cultivos (10, 19, 20, 29, 30, 31).

Mbagwu *et al.* (27) muestran reducción del 95% y 63% en la producción de maíz y garbanzo, respectivamente, por la remoción de 5 cm de suelo superficial en un Ultisol en Nigeria; para los mismos cultivos, en un

Alfisol se reportaron reducciones del 31% y 94%, respectivamente; Sparoveck *et al.* (39) mostraron que la disminución del rendimiento de soya obtenido en un *Ferric Acrisol* fue significativa hasta la remoción de 15 cm de suelo, llegando a ser nula después de la remoción de 20 cm de suelo; mientras que Larney *et al.* (23) registraron una disminución entre 8% y 53% en la producción de trigo por la reducción entre 5 y 20 cm de la capa superficial del suelo. En otro estudio, Malhi *et al.* (26), en Mollisoles en Canadá, reportaron que la erosión disminuyó no sólo el N del suelo por remoción física, sino que también se afectó el potencial de mineralización del N remanente en el suelo.

En Colombia, en un Andisol de la zona cafetera, se encontró que las pérdidas del horizonte superficial y de 5 a 10 cm del segundo horizonte redujeron la producción de maíz en un 73,3% (6), mientras que en un Inceptisol la remoción artificial de la capa superficial del suelo redujo la productividad de cultivos de sorgo, maní y yuca (9).

Cuantificar los impactos negativos de la erosión en términos de calidad y disminución de la capacidad productiva del suelo es de gran importancia para la toma de decisiones y diseño de políticas orientadas a un mejor uso y manejo de los suelos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la erosión hídrica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y sobre la producción del cultivo de café en un suelo de la zona cafetera de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental El Rosario de Cenicafé, ubicada en el municipio de Venecia (Antioquia), a 5°56'N, 75°42'O, a 1.635 m de altitud, con una precipitación anual de 2.600 mm,

temperatura media de 19,9°C y humedad relativa del 74%. Se usó un terreno clasificado fisiográficamente como pendiente convexa, topografía circundante montañosa, suelo derivado de areniscas y arcillolitas, clasificado taxonómicamente como *Typic dystropept*, a escala de serie como unidad Venecia, con drenaje de medio a moderadamente bien drenado (7).

Se utilizó la metodología de fases de erosión descrita por Olson *et al.* (32) y por Lal (19, 20), la cual consistió en la identificación de sitios con diferentes fases de erosión y la posterior comparación de las propiedades físicas y químicas del suelo y la producción de café obtenida en cada fase de erosión.

Se seleccionó un lote de 0,5 ha, con pendiente del 25% al 75%, con evidencias de erosión, tradicionalmente cultivado con café. Se realizó la medición de la profundidad del primer horizonte del terreno, mediante un muestreo sistemático, recorriendo todo el lote, con el fin de verificar y agrupar los sitios por fases de erosión, así:

- Muy leve: Sitios que presentaron el valor máximo del espesor del primer horizonte y hasta un 10% menos de este valor.
- Leve: Sitios con 50% ± 10% del valor máximo observado del primer horizonte.
- Moderada: Sitios con 25% ± 10% del valor máximo observado del primer horizonte.
- Severa: Sitios con pérdida total del primer horizonte e incluso parte del segundo horizonte

Una vez identificados y demarcados los sitios en cada fase de erosión, en éstos se establecieron las unidades experimentales,

constituidas por parcelas de café sembradas a 1,3 m x 1,3 m, con 16 plantas, 4 efectivas y 12 de borde. Para cada unidad experimental se establecieron los tratamientos conformados por las cuatro fases de erosión: (1) muy ligera, (2) leve, (3) moderada y (4) severa, combinadas con dos sistemas de manejo de suelo (1) suelo totalmente libre de coberturas mediante la aplicación de herbicidas y (2) suelo con coberturas, mediante el manejo integrado de arvenses, basado en la integración de los diferentes métodos de manejo de arvenses como el manual, mecánico y químico en forma selectiva (12). En total se tuvieron ocho tratamientos, cada uno con mínimo tres repeticiones.

En el centro de cada unidad experimental, al inicio de la investigación, a tres profundidades del suelo (0-5 cm, 5-10 cm y 10-20 cm), se evaluaron las siguientes propiedades físicas y químicas: Distribución de partículas por tamaño, por el método de Bouyoucus, con dispersión con pirofosfato de Na al 8% y distribución de agregados en seco por el método del Ro-tap (17), estabilidad estructural por el método de Yoder (40), resistencia a la penetración *in situ* con penetrómetro de impacto (15), densidad aparente con cilindros de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura, conductividad hidráulica saturada por el método de la carga hidráulica constante, retención de humedad en el suelo a 0,03 MPa, 0,1 MPa y 1,5 MPa con la metodología de las placas de Richard's (17) y el contenido de materia orgánica, la capacidad de Intercambio Catiónico, pH y contenidos de P, K, Ca, Mg y Al, descritos por Carrillo (4).

Como variable de respuesta, durante tres cosechas, se registró la producción de café pergamino seco de las cuatro plantas de café efectivas, localizadas en el centro de cada una de las unidades de medición.

Análisis estadístico. La investigación correspondió a un diseño no experimental, se realizó el análisis de varianza para las propiedades físicas y químicas del suelo y para la variable producción de café, bajo un modelo aleatorio. La comparación de promedios entre tratamientos y la verificación de diferencias estadísticas entre ellos se realizó mediante la prueba de Tukey al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la erosión sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Al comparar los dos sistemas de manejo y las cuatro fases de erosión en cada profundidad, el análisis de varianza mostró que dentro de una misma fase de erosión no hubo efecto del sistema de manejo del suelo sobre las variables físicas, hidráulicas y químicas determinadas, debido posiblemente a que el período de evaluación fue muy corto para valorar dichos efectos, los cuales generalmente se expresan en períodos de 10 a 15 años (19); por lo tanto, se evaluó el efecto de las fases de erosión sobre las variables de respuesta.

En la Tabla 1, se presentan las propiedades físicas determinadas a tres profundidades, en suelos con diferente grado de erosión. Se encontró efecto de las fases de erosión sobre las propiedades físicas densidad aparente (DA), porosidad total (η), estabilidad estructural (DPM), distribución de agregados en seco (MWD) y distribución de partículas por tamaño (arenas, limos y arcillas).

La densidad aparente (DA) fue mayor en los sitios más erosionados y, consecuentemente, la porosidad total (η) fue menor en estos sitios. La estabilidad estructural determinada según el diámetro ponderado medio (DPM) decrece con el aumento de la erosión; en los suelos con erosión muy leve y leve, el DPM presentó valores cercanos a 3, calificado como

suelos con agregados estables (14), mientras que en los suelos con erosión severa, el DPM presentó valores cercanos a 1,5, calificados como ligeramente estables, esta variación puede estar asociada con los altos contenidos de materia orgánica y de arcillas en las fases menos erosionadas (Tabla 1).

El índice de distribución de agregados en seco por tamaño (MWD) aumentó con el grado de erosión, lo cual indica que la consistencia en seco de los suelos más erosionados varió desde dura hasta extremadamente dura, evidenciado por la estructura masiva y la alta proporción de terrones de tamaño grande (>6 mm) en dichos suelos. La resistencia a la penetración (RP) no presentó diferencias entre fases ni entre profundidades; en los suelos menos erosionados, el contenido de arcillas fue ligeramente mayor y el de arenas menor, lo cual permite inferir la pérdida de arcillas por efecto de la erosión, aunque en la literatura se ha reportado aumento en el contenido de arcillas cuando se pasa de una fase de erosión leve a severa (25, 38). En

este caso particular, la pérdida de arcillas por efecto de la erosión puede originarse por la exposición de substratos de suelo con alto contenido de arenas constituidas principalmente por cuarzo (40% a 60%), bien compactadas y cementadas, con alta resistencia mecánica y química, propios de los suelos de la unidad Venecia (7).

En la Tabla 2 se presentan las propiedades hidráulicas del suelo a tres profundidades, en función de diferentes fases de erosión. El análisis de varianza mostró efecto de las fases de erosión sobre la retención de humedad. En general, en las tres profundidades evaluadas se encontró mayor retención de humedad a las diferentes tensiones en los suelos menos erosionados, comparados con aquellos erosionados, lo cual puede estar asociado con alteraciones en el contenido de materia orgánica, densidad aparente, porosidad y distribución de partículas del suelo (3, 8, 10, 25, 30). La conductividad hidráulica saturada (K_s) no presentó diferencias estadísticas entre

Tabla 1. Variación de algunas propiedades físicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Prof. cm	D.A. g.cm ⁻³	η %	DPM mm	MWD mm	RP MPa	A	L	Ar
							%		
Muy leve	0-5	0,85 c	0,68 a	3,23 a	4,10 b	0,53 a	32,88 a	22,13 a	45,00 a
Leve		0,95 b	0,64 b	2,89 ab	4,57 ab	0,53 a	33,70 a	21,90 a	44,40 a
Moderada		1,05 a	0,60 c	2,56 b	4,81 a	0,53 a	40,09 a	21,82 a	38,09 a
Severa		1,07 a	0,60 c	2,44 b	5,08 a	0,47 a	39,36 a	22,82 a	37,82 a
Muy leve	5-10	0,81 b	0,69 a	2,95 a	3,31 c	0,66 a	30,25 b	22,88 a	46,88 a
Leve		0,91 b	0,66 a	2,67 ab	3,74 bc	0,57 a	33,90 ab	20,90 ab	45,20 ab
Moderada		1,06 a	0,60 b	2,22 bc	4,14 ab	0,64 a	39,82 a	21,36 b	38,82 b
Severa		1,12 a	0,58 b	1,97 c	4,61 a	0,59 a	39,09 a	22,36 b	38,55 b
Muy leve	10-20	0,80 b	0,70 a	2,83 a	3,41 b	0,84 a	30,88 b	21,75 a	47,38 a
Leve		0,95 ab	0,66 ab	2,25 ab	3,84 ab	0,66 a	34,90 ab	20,10 a	45,00 ab
Moderada		1,12 a	0,58 b	1,82 b	4,46 a	0,78 a	39,27 a	21,27 a	39,45 ab
Severa		1,12 a	0,59 b	1,60 b	4,53 a	0,78 a	39,00 a	22,82 a	38,18 b

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

las fases de erosión en las profundidades evaluadas, aunque el rango de valores de K_s fue muy alto, entre 4,66 y 20,36 $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (14); diferentes autores concluyen que la conductividad hidráulica saturada (K_s) es una propiedad que presenta alta variabilidad espacial, que sumada al error asociado a los métodos de campo o laboratorio utilizados para su determinación (13, 16), generan alta variabilidad y, por lo tanto, no reflejan el impacto de la erosión.

En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores de las variables químicas evaluadas a tres profundidades en suelos, con diferente grado de erosión. Se encontró que la erosión afecta propiedades como contenido de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de aluminio, magnesio, hierro, manganeso y cinc.

El contenido de MO presentó valores desde altos (12,88%) hasta bajos (<7%) para la producción del cultivo del café en Colombia (37); los bajos contenidos de

MO se deben básicamente a la pérdida de la capa superficial del suelo por efecto de la erosión, lo cual a su vez ocasiona alteración de otras propiedades como la densidad aparente, estabilidad estructural y retención de humedad, entre otras (8, 10, 24, 38). A 5 cm de profundidad, en suelos con erosión muy leve, se registraron altos contenidos de MO, mientras que a la misma profundidad, en suelos severamente erosionados el contenido de MO fue desde bajo (6,9%) a muy bajo (4,8%). La CIC determinada en las tres profundidades se redujo, conforme se pasa de una fase de erosión leve a una severa y en concordancia con el contenido de MO, la CIC fue mayor en los suelos menos erosionados.

El pH del suelo no presentó diferencias estadísticas entre las fases de erosión evaluadas, aunque se observó un ligero incremento de la acidez del suelo en las parcelas más erosionadas, Los valores de pH fluctuaron entre 4,68 y 4,38, el carácter ácido de estos suelos se atribuye a factores pedogenéticos

Tabla 2. Valores promedio de algunas propiedades hidráulicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión cm	Prof. cm	t	$\theta-0,01$ MPa	$\theta-0,1$ MPa	$\theta-1,5$ MPa	θ -Campo	K_s
				$\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$			$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$
Muy leve	0-5	0,6915 a	0,4815 a	0,4422 a	0,3602 a	0,5506 a	4,66 a
Leve		0,6553 ab	0,4174 b	0,3887 b	0,3091 b	0,4476b	7,37a
Moderada		0,6330 b	0,4359 b	0,3972 b	0,2855 bc	0,4309 b	5,24 a
Severa		0,6172 b	0,4375 b	0,4014 b	0,2659 c	0,3881 b	10,49 a
Muy leve	5-10	0,6861 a	0,4721 a	0,4278 a	0,3355 a	0,5543 a	12,27 a
Leve		0,6725 a	0,4344 b	0,3939 b	0,2791 b	0,4506 b	16,31 a
Moderada		0,6030 b	0,4322 b	0,3982 b	0,2780 b	0,4590 b	13,61 a
Severa		0,6160 b	0,4334 b	0,3977 b	0,2608 b	0,3880 b	7,93 a
Muy leve	10-20	0,6848 a	0,4965 a	0,4477 a	0,3223 a	0,5968 a	14,01 a
Leve		0,6581 a	0,4404 b	0,4038 b	0,2745 b	0,4621 b	20,36 a
Moderada		0,5899 b	0,4294 b	0,3888 b	0,2682 b	0,3989 b	7,11 a
Severa		0,5899 b	0,4285 b	0,3978 b	0,2501 b	0,3877 b	9,67 a

θ =Humedad volumétrica del suelo; θ -Sat.=Humedad volumétrica en el punto de saturación; Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%,

tales como el material parental (areniscas y arcillolitas) y factores ambientales como la alta pluviosidad de la región (7). El aluminio intercambiable presentó valores muy altos (entre 4,0 y 9,1 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) y están de acuerdo con el pH del suelo (7); se encontraron diferencias estadísticas entre las parcelas con erosión muy leve comparadas con las parcelas erosionadas, es así como los menores contenidos de Al se encontraron en las parcelas con erosión muy leve (Tabla 3).

En las tres profundidades evaluadas, el contenido de P, K y Ca, no presentó diferencias estadísticas entre las fases de erosión, mientras que los contenidos de Mg, Fe, Mn y Cu aumentaron conforme se incrementó el nivel de erosión, lo cual puede estar asociado con la exposición de horizontes o capas subsuperficiales con mayor contenido de estos elementos (Tabla 4).

En general, se puede observar una disminución en el contenido MO y de

bases, conforme se incrementa en la profundidad del suelo, lo cual indica que en estos suelos los nutrientes tienden a estar concentrados en la capa superficial, de allí que la pérdida de nutrimentos y de MO son estrictamente proporcionales a las pérdidas de suelo por erosión, lo cual provoca disminución en la concentración de nutrimentos en el suelo degradado remanente (20).

Efecto de la erosión sobre la producción del cultivo de café. En la Tabla 5 se presenta la producción de café pergamino seco, en kilogramos por parcela (plantas efectivas), registrada durante tres cosechas consecutivas, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes fases de erosión.

Se encontraron diferencias estadísticas entre la producción de café obtenida en las parcelas con suelos severamente erosionados, comparada con las demás fases de erosión; el promedio de la producción registrada en las parcelas con erosión muy leve, leve y

Tabla 3. Valores promedio de algunas variables químicas, por profundidad, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Profundidad cm	pH	M.O. %	CIC		Al
				$\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$		
Muy leve	0-5	4,58 a	12,88 a	26,00 a	4,00 b	
Leve		4,38 a	10,36 b	28,20 a	8,39 a	
Moderada		4,45 a	7,74 c	21,09 b	5,39 bc	
Severa		4,45 a	6,92 c	22,36 b	6,61 ac	
Muy leve	5-10	4,53 a	11,88 a	25,50 a	4,95 b	
Leve		4,38 a	8,62 b	26,40 a	9,15 a	
Moderada		4,43 a	6,55 bc	20,45 b	6,59 bc	
Severa		4,47 a	5,96 c	21,64 b	7,89 ac	
Muy leve	10-20	4,68 a	10,73 a	24,13 a	4,41 b	
Leve		4,53 a	7,07 b	21,90 ab	8,87 a	
Moderada		4,53 a	4,89 b	18,36 bc	6,90 a	
Severa		4,55 a	4,80 b	20,00 c	7,58 a	

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

Tabla 4. Valores promedio de los contenidos de nutrimentos, por profundidad en suelos de la unidad Venecia con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Prof. cm	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn
		cmol _c .kg ⁻¹			mg.kg ⁻¹				
Muy leve	0-5	0,36 a	3,68 a	0,42 b	12,13 a	378,13 b	36,25 ab	1,50 a	3,50 a
Leve		0,39 a	1,91 a	0,63 b	8,20 a	721,70 a	27,20 b	1,50 a	2,80 ab
Moderada		0,47 a	2,76 a	0,74 ab	36,30 a	506,45 ab	62,82 ab	2,00 a	2,55 b
Severa		0,36 a	2,31 a	1,14 a	18,91 a	504,91 ab	77,45 a	2,00 a	3,36 ab
Muy leve	5-10	0,19 a	1,49 a	0,21 b	11,63 a	311,13 b	22,00 a	1,38 a	3,25 a
Leve		0,19 a	0,85 a	0,37 ab	4,00 a	554,90 a	15,20 a	1,30 a	2,20 a
Moderada		0,28 a	1,69 a	0,49 ab	21,55 a	454,09 ab	54,91 a	1,91 a	2,27 a
Severa		0,22 a	1,49 a	0,73 a	12,55 a	403,09 ab	50,36 a	1,91 a	2,36 a
Muy leve	10-20	0,16 a	1,63 a	0,18 b	6,00 a	245,63 b	17,25 ab	1,13 a	3,50 a
Leve		0,14 a	0,62 a	0,29 b	2,20 a	480,00 a	12,00 b	1,20 a	1,40 b
Moderada		0,19 a	1,26 a	0,41 ab	6,55 a	350,55 b	51,27 ab	1,82 a	1,73 b
Severa		0,17 a	1,37 a	0,66 a	5,27 a	332,73 b	56,45 a	1,91 a	2,27 b

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

moderada no presentó diferencias estadísticas, durante los años 1 y 2, solamente en el tercer año de medición se observó una mayor producción en la fase de erosión leve.

En general, la producción de café obtenida en las parcelas con erosión severa se redujo en el 51% promedio, al compararla con la obtenida en las parcelas con erosión muy leve, 60% al compararla con la producción obtenida en las parcelas con erosión leve, y 54% comparada con la producción registrada en las parcelas con erosión moderada.

Numerosas investigaciones permiten concluir que la erosión ocasiona una disminución de la productividad del suelo (2, 9, 21, 24, 33), en este caso particular, se encontró que la producción de café se reduce drásticamente cuando se alcanzan niveles de erosión severos. La afectación de la fertilidad del suelo por efecto de la erosión en un mismo sitio puede variar según la posición en la ladera, pues

existen zonas más susceptibles donde las pérdidas pueden ser mayores y, por lo tanto, el impacto muy alto, y zonas de acumulación tales como la base de laderas o depresiones donde puede generarse un mejoramiento del suelo. De otro lado, la remoción del suelo por efecto de la erosión generalmente es un proceso desuniforme, lo cual implica que la pérdida de nutrientes y materia orgánica no es homogénea en toda el área afectada y sus efectos sobre la producción no son igualmente uniformes (19).

En última instancia, para las condiciones del estudio, la degradación del suelo como una consecuencia de la erosión ocasiona pérdida de materia orgánica y de nutrimentos, alteración de las propiedades físicas, hidráulicas y químicas y, consecuentemente, alteración de la fertilidad del suelo, lo cual debe considerarse como un detrimento de la calidad del suelo, por lo que deben tomarse las medidas preventivas para evitar o controlar el proceso de erosión hídrica.

Tabla 5. Promedios (Prom.) y variación (C.V.) de la producción de café pergamino seco (kg por parcela), obtenida de tres cosechas, en suelos de la unidad Venecia, con diferentes grados de erosión.

Fase de erosión	Año 1		Año 2		Año 3	
	Prom.	C.V. %	Prom.	C.V. %	Prom.	C.V. %
Muy leve	3,01 a	30,95	4,25 a	12,77	8,55 b	22,72
Leve	3,85 a	17,06	4,60 a	23,55	11,27 a	19,98
Moderada	3,62 a	24,86	4,01 a	26,04	8,87 b	20,60
Severa	1,56 b	66,58	1,75 b	77,61	4,46 c	31,53

Letras no comunes entre fases por profundidad indican diferencias estadísticas según prueba Tukey al 5%.

AGRADECIMIENTOS

A los colaboradores de la Estación Experimental El Rosario. Al Ing. Agrónomo M.Sc. John Wilson Mejía M. y señor Iván De Jesús Arango P.

LITERATURA CITADA

- ARRIAGA, F.J.; LOWERY, B. Soil physical properties and crop productivity of an eroded soil amended with cattle manure. *Soil science* 168(12):888-899. 2003.
- BAKKER, M.M., GOVERS, G., ROUNSEVELL, M.D.A. The crop productivity-erosion relationship: An analysis based on experimental work. *Catena* 57(1):55-76. 2004.
- BATTISON, L.A., MILLER, M.H., SHELTON, I.J. Soil erosion and corn yield in Ontario: Field evaluation. *Canadian journal of soil science* 67(4):731-745. 1987.
- CARRILLO, I.F. Manual del laboratorio de suelos. Chinchiná : CENICAFÉ, 1985. 111 p.
- EL S., S.A. Soil erosion and conservation in the humid tropics. p. 233-255. En: PIMENTEL, D. *World soil erosion and conservation*. Cambridge : Cambridge university press, 1993. 349 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Cuarenta años de investigación en Cenicafé: Suelos. Chinchiná : CENICAFÉ, 1982. 74 p.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Estudio detallado de suelos de la subestación El Rosario - Antioquia. Bogotá : FEDERACAFÉ, 1985. 108 p.
- FENTON, T.E.; KAZEMI, M., LAUTERBACH B., M.A. Erosional impact on organic matter content and productivity of selected Iowa soils. *Soil and tillage research* 81(2):163-171. 2005.
- FLÖRCHINGER, F.A.; LEIHNER, D.E.; STEINMÜLER, N.; MÜLLER S., K.; EL-SHARKAWY, M.A. Effects of artificial topsoil removal on sorghum, peanut and cassava yield. *Journal of soil and water conservation* 55(3):334-339. 2000.
- FRYE, W.W.; EBELHAR, S.A.; MUDORCK, L.W.; BLEVIS, R.L. Soil erosion effects on properties and productivity of two Kentucky soils. *Soil science society of America journal* 46(5):1051-1055. 1982.
- GÓMEZ, A.A.; GRISALES, G.A.; SUÁREZ, S.J. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná : CENICAFÉ, 1975. 267 p.
- GÓMEZ, A.A.; RAMÍREZ, C.J.; CRUZ, R.G.; RIVERA P., H. Manejo y control integrado de malezas en cafetales y potreros de la zona cafetera colombiana. Chinchiná : FEDERACAFÉ : CENICAFÉ, 1985. 254 p.
- GREEN, R.E.; COREY, J.C. Calculation of hydraulic conductivity: A further evaluation of some predictive methods. *Soil science society of America journal* 35(1):3-8. 1971.
- HAZELTON, P.A.; MURPHY, B.W. Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?. Sydney : CSIRO, 2007. 152 p.
- HERRICK, J.E.; JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil science society of America journal* 66(4):1320-1324. 2002.
- JACKSON, R.D.; REGINATO, R.S.; BAVEL, C.H.M. VAN. Comparison of measured and calculated

- hydraulic conductivities of saturated soils. *Water resources research* 1(3):375-380. 1965.
17. KLUTE, A.Z. *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties*. 2da. ed. Wisconsin : American society of agronomy and soil science of America, 1986. 1187 p.
 18. LAL, R. Soil erosion and its relation to productivity in tropical soils. p. 237-248. En: EL S., S.A.; MOLDENHAUER, W.C. *Soil erosion and conservation*. Iowa : Soil conservation society of America, 1985. 793 p.
 19. LAL, R. Monitoring soil erosion's impact on crop productivity. p. 187-200. En: LAL, R. *Soil erosion research methods*. Iowa : Soil and water conservation society, 1988. 244 p.
 20. LAL, R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical review plant science* 17(4):319-464. 1998.
 21. LARNEY, F.J.; IZAURRALDE, R.C.; JANZEN, H.H.; OLSON, B.M.; SOLBERG, E.D.; LINDWALL, C.W.; NYBORG, M. Soil erosion-crop productivity relationships for six Alberta soils. *Journal of soil and water conservation* 50(1):87-91. 1995.
 22. LARNEY, F.J.; JANZEN, H.H. A simulated erosion approach to assess rates of cattle manure and phosphorus fertilizer for restoring productivity to eroded soils. *Agricultural ecosystems and environmental* 65(2):113-126. 1997.
 23. LARNEY, F.J.; OLSON, B.M.; JANZEN, H.H.; LINDWALL, C.W. Early impact of simulated erosion and soil amendments on crop productivity. *Agronomy journal* 92(5):948-956. 2000.
 24. LARNEY, F.J.; JANZEN, H.H.; OLSON, B.M.; OLSON, A.F. Erosion productivity soil amendment relationships for wheat over 16 years. *Soil and tillage research* 103(1):73-83. 2009.
 25. LOWERY, B.; SWAN, J.; SCHUMACHER, T.; JONES, A. Physical properties of selected soils by erosion class. *Journal of soil and water conservation* 50(3):306-311. 1995.
 26. MALHI, S.S.; IZAURRALDE, R.C.; NYBORG, M.; SOLBERG, E.D. Influence of topsoil removal on soil fertility and barley growth. *Journal of soil and water conservation* 49(1):96-101. 1994.
 27. MBAGWU, J.S.C.; LAL, R.; SCOTT, T.W. Effects of desurfacing of alfisols and ultisols in southern Nigeria: Crop performance. *Soil science society of America journal* 48(4):828-833. 1984.
 28. MIELKE, L.N.; SCHEPERS, J.S. Plant response to topsoil thickness on an eroded loess soil. *Journal of soil and water conservation* 41(1):59-63. 1986.
 29. MOKMA, D.L.; SIETZ, M.A. Effects of soil erosion on corn yields on Marlette soils in south central Michigan. *Journal of soil and water conservation* 47(4):325-327. 1992.
 30. NIZEYIMANA, E.; OLSON, K.R. Chemical, mineralogical and physical property differences between moderately and severely eroded Illinois soils. *Soil science society of America journal* 52(6):1740-1748. 1988.
 31. OLSON, K.R.; CARMER, S.G. Corn yield and plant population differences between eroded phases of Illinois soils. *Journal of soil and water conservation* 45(3):562-566. 1990.
 32. OLSON, K.R.; LAL, R.; NORTON, L.D. Evaluation of methods to study soil erosion productivity relationships. *Journal of soil and water conservation* 49(6):586-590. 1994.
 33. PAPIERNIK, S.K.; SCHUMACHER, T.E.; LOBB, D.A.; LINDSTROM, M.J.; LIESER, M.L.; EYNARD, A.; SCHUMACHER, J.A. Soil properties and productivity as affected by topsoil movement within an eroded landform. *Soil and tillage research* 102(1):67-77. 2009.
 34. PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; LOBB, D.A.; LINDSTROM, M.J.; LIESER, M.L.; EYNARD, A.; SCHUMACHER, J.A. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267(5201):1117-1123. 1995.
 35. POLYAKOV, V.O.; LAL, R. Soil organic matter and CO₂ emission as affected by water erosion on field runoff plots. *Geoderma* 143(1/2):216-222. 2008.
 36. RHOTON, F.E.; TYLER, D.D. Erosion induced changes in the properties of a Fragipan soil. *Soil science society of America journal* 54(1):223-228. 1990.
 37. SADEGHIAN K., S. La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Chinchiná : CENICAFÉ*, 2010. 61 p.
 38. SCHERTZ, D.L.; MOLDENHAUER, W.C.; LIVINGSTON, S.J.; WEESIES, G.A.; HINTZ,

- E.A. Effect of past soil erosion on crop productivity in Indiana. *Journal of soil and water conservation* 44(6):604-608. 1989.
39. SPAROVECK, G.; TERAMOTO, E.R.; TORETA, D.M.; ROCHELES, T.C.A.; SHAYER, E.P.M. Erosão simulada e a produtividade da cultura do milho. *Revista brasileira ciencia do solo* 15(3):363-369. 1991.
40. YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of american society of agronomy* 28(5):337-351. [1936].

MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS PRODUCTIVAS DE ÁRBOLES DE CAFÉ

Gloria María Betancur Arboleda*; Carlos Eugenio Oliveros Tascón*; Esther Cecilia Montoya Restrepo**

RESUMEN

BETANCUR A., G.M; OLIVEROS T., C.E.; MONTOYA R., E.C. Método fotogramétrico para la caracterización de estructuras productivas de árboles de café. Revista Cenicafé 62 (2): 90-99. 2011

Como el fin de obtener información de importancia en estudios de mejoramiento genético y para el diseño de dispositivos para la cosecha, se obtuvieron imágenes tridimensionales de árboles de café de la especie *Coffea arabica* L., empleando un método basado en la fotogrametría utilizando el programa PhotoModeler Professional®. El método se aplicó en 60 árboles de café con edades de 12 y 22 meses, en tres lotes, sembrados a 1,0 m x 1,0 m, 1,4 m x 1,0 m y 2,0 m x 1,0 m. En cada árbol, de cada lote, se midió la longitud de diez ramas previamente marcadas, utilizando el método basado en la fotogrametría (método 1) y con una cinta métrica (método 2). Los promedios de las diferencias relativas de la longitud de la rama obtenida con el método 1 con respecto al método 2, en los tres lotes, fueron 8,43%, 12,70% y 8,30%, respectivamente. Para obtener una mejor medición de la longitud de las ramas de árboles de café y facilitar la diferenciación de los nudos productivos se colocaron balotas de colores en las ramas, obteniendo un promedio de la diferencia de 5,4% con límites inferior y superior de 4,2% y 6,6%, respectivamente, para un coeficiente de confianza del 95%. La metodología utilizada permite generar imágenes tridimensionales de árboles de café a partir de las cuales se puede obtener información de importancia para estudios en cosecha manual y mecanizada y con fines agrícolas.

Palabras clave: Arquitectura de plantas, *Coffea arabica*, morfología, longitud de las ramas, nudos productivos.

ABSTRACT

In order to obtain important information on genetic improvement studies and to design devices for harvesting, tridimensional images of coffee trees of the *Coffea arabica* L. species were obtained using a method based on photogrammetry using the PhotoModeler Professional® software. The method was applied to 60 coffee trees with ages of 12 and 22 months in three plots, planted at 1.0m x 1.0m, 1.4m x 1.0 m and 2.0m x 1.0m. In each tree of each plot, the length of ten previously marked branches were measured using the photogrammetry-based method (Method 1) and a tape measure method (Method 2). Averages of the relative differences in the length of the branch obtained by using Method 1 with respect to Method 2, in the three plots, were 8.43%, 12.7% and 8.3% respectively. In order to get a better measurement of the length of the coffee tree branches and so as to facilitate the differentiation of productive nodes, colored ballots were placed in the branches, obtaining an average difference of 5.4 % with lower and upper limits of 4.2% and 6.6%, respectively, for a confidence coefficient of 95%. This methodology can generate tridimensional images of coffee trees from which important information for studies in manual and mechanized harvesting and agricultural purposes can be obtained.

Keywords: Plant architecture, *Coffea arabica*, morphology, length of branches, productive knots.

* Investigador Asociado (hasta el 2003) e Investigador Principal. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé.

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

El conocimiento de la arquitectura de las variedades de café cultivadas, para diferentes edades, sistemas de siembra y manejo, es un requerimiento importante en el diseño de dispositivos para la cosecha del café. En el diseño de equipos para asistir la cosecha manual se requiere información de la distancia entre las ramas y su distribución, el número de nudos y su distribución en las ramas, así como el número de frutos por nudo (11, 12, 13), para las variedades de café cultivadas en Colombia.

Para el diseño de equipos con aplicación de vibraciones o impactos al follaje o las ramas, además de las anteriores, también se requiere conocer propiedades mecánicas de las diferentes estructuras del árbol, como el tronco, las ramas y el pedúnculo (1, 2, 4, 5, 7). Factores como la altura de la planta (23), la masa de frutos maduros a recolectar (12, 22) y su distribución (10), también afectan el desempeño en cosecha manual y semi-mecanizada (5, 7, 11, 13, 15).

Entre los estudios adelantados en Cenicafe sobre morfología de la fructificación en el árbol de café se tienen los siguientes autores: Arcila (3) evaluó y graficó la distribución espacial de los frutos durante 3 años; Aristizábal *et al.* (5) determinaron las propiedades mecánicas y físicas del árbol de café requeridas para el diseño de equipos para la cosecha del café, con aplicación de vibraciones al tallo o a las ramas; y Salazar *et al.* (19) y Salazar (20) determinaron factores morfológicos relacionados con el rendimiento en la producción del árbol de café.

Los modelos morfológicos permiten definir la estructura de un individuo u objeto, y son utilizados con propósitos de investigación. En el caso de las plantas, los modelos morfogenéticos permiten analizar la estructura de la planta sin las alteraciones

provocadas por las condiciones externas, pues el fenotipo expresado será responsabilidad del genoma únicamente. En el caso de las plantas, se pretende generar individuos tridimensionales virtuales, que correspondan a la morfología de la especie. Adicionalmente, generar resultados sobre la descripción de la arquitectura acordes con la programación genética de la planta, en un ambiente biofísico conocido, no controlado.

Las plantas virtuales son imágenes computarizadas de la estructura y del crecimiento de plantas individuales en espacio tridimensional, que pueden servir para la posterior elaboración de un modelo de procesos (8, 16, 17, 18, 21). Estos modelos también permiten explorar la variación cuantitativa y cualitativa de una especie, tanto para investigación de los aspectos biofísicos como ecofisiológicos que dependan de la estructura de la planta.

La obtención de imágenes tridimensionales de plantas puede lograrse por diferentes métodos entre los cuales está la medición directa en el campo de las variables morfométricas, la aplicación de fotogrametría, la cual consiste en extraer información tridimensional del objetivo a través de fotografías tomadas desde varios ángulos, o la utilización de digitalizadores tridimensionales (8, 9). Algunos de estos sistemas son de uso limitado en la graficación de plantas, puesto que las hojas y ramas oscurecen u obstruyen la línea de observación a los puntos de especial interés (6).

Entre las herramientas existentes para el procesamiento de fotogramas con aplicación industrial existen programas computacionales especializados. Estos programas permiten capturar las imágenes con detalles y obtener información sobre estructuras de las plantas (6).

En esta investigación se evaluó un método para obtener imágenes tridimensionales de árboles de café que pueda ser utilizadas para obtener información de importancia en estudios de mejoramiento genético y para el diseño de dispositivos para la cosecha.

MATERIALES Y METODOS

Las pruebas de campo se llevaron a cabo en dos localidades: La Estación Central Naranjal, ubicada en el Municipio de Chinchiná (Caldas), y la Estación Experimental El Rosario, ubicada en el Municipio de Venecia (Antioquia). Se seleccionaron tres lotes, uno en Estación Naranjal y dos en la Estación El Rosario, con las características presentadas en la Tabla 1.

Las fotografías de los árboles de café se obtuvieron con una cámara digital KODAK DC 210 Plus, utilizando un fondo blanco y círculo blanco para la base del tallo, con cuatro marcas visibles. Para obtener imágenes tridimensionales de los árboles de café se utilizó el programa computacional PhotoModeler 4.0 Professional® de Eos Systems Inc (14). El principio utilizado para la obtención de imágenes tridimensionales del árbol de café, fue el fotogramétrico.

De cada lote, durante la recolección principal, se tomaron 20 árboles seleccionados aleatoriamente, y en cada uno de ellos, se marcaron diez ramas. En cada árbol se tomaron mínimo seis fotografías digitales, cubriendo completamente el dosel, cada una a 60°, en las cuales se buscó ubicar los nudos de la planta con frutos. Para facilitar la visualización de las estructuras en la fotografía fue necesario defoliar todo el árbol.

De la imagen obtenida para cada árbol seleccionado se determinó la longitud de diez ramas, previamente marcadas e identificadas en las fotografías (método 1). Posteriormente, a cada una de estas ramas se les midió la longitud con una cinta métrica (método 2).

El procedimiento del método 1 fue el siguiente: Se organizaron las fotografías virtuales en carpetas, teniendo en cuenta su orden, lote y árbol. Luego, se procesaron las fotografías con el programa computacional PhotoModeler Pro 4.0®, y se obtuvieron los gráficos virtuales tridimensionales, uno por cada árbol, para adquirir los datos virtuales de cada árbol. Finalmente se exportaron los gráficos obtenidos en PhotoModeler pro 4.0® al programa AUTOCAD 14, para su procesamiento y análisis de los resultados.

Tabla 1. Características de los lotes evaluados.

Característica	Estación Central Naranjal	Estación Experimental El Rosario	
	Lote Naranjal	Lote 1	Lote 2
Árboles	20	20	20
Distancia de siembra	2,0 m x 1,0 m	1,4 m x 1,0 m	1,0 m x 1,0 m
Plantas por sitio	1	2	1
Edad	22 meses	12 meses	12 meses
Variedad	Colombia	Colombia	Colombia
Pendiente	15%	66%	72%
Tallo	Plantilla	Plantilla	Plantilla

Para la aplicación del método 1, una vez defoliado el árbol, se colocaron balotas de colores en los nudos con frutos, con el fin de mejorar la imagen virtual.

El análisis consistió en primer lugar en hacer una descripción de la información obtenida con el método 1; y posteriormente, en establecer la diferencia relativa en la medición de la longitud de las ramas con el método 1 respecto al método 2, tanto a nivel de cada lote, e independientemente del lote.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las fotografías procesadas (método 1), con los puntos clave marcados en cada rama, para uno de los 20 árboles utilizados, se presentan en la Figura 1. Las imágenes tridimensionales obtenidas de árboles de café (Figura 2), permiten hacer algunas observaciones de las estructuras vegetativas de un árbol de café, tales como la ubicación espacial tridimensional de cada punto, línea y curva presentes en el gráfico; además permite hacer mediciones



Figura 1. Fotografías procesadas para la elaboración del gráfico tridimensional.

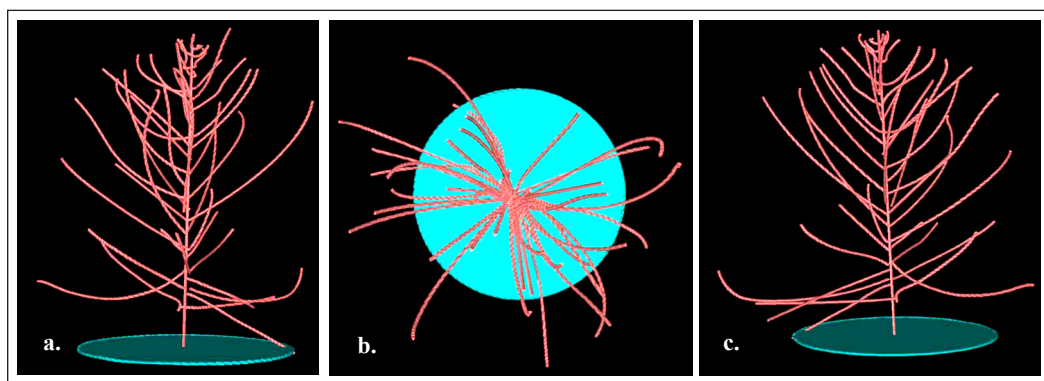


Figura 2. Gráficos tridimensionales del árbol de café. **a, b y c.** Vistas desde diferentes planos.

de distancias entre puntos y dar textura a las superficies

La facilidad para diferenciar los nudos varió de acuerdo al lote (Figura 3). El lote 1 de la Estación El Rosario fue el que más dificultades presentó para su graficación, debido a factores como el entrelazamiento de las ramas en cafetales con dos plantas por sitio y la alta densidad de siembra, que no permitieron diferenciar adecuadamente las ramas en las fotografías.

En el Lote 2 se presentaron dificultades para diferenciar los nudos, principalmente por la presencia de entrenudos cortos.

En el Lote de la Estación Central Naranjal se presentaron las condiciones más favorables para la graficación, por la menor densidad de siembra que en los lotes anteriores, árboles con entrenudos más largos, menor presencia de follaje y pendiente menor.

A partir de las imágenes tridimensionales de árboles de café obtenidas con el método 1 puede describirse la ramificación, pero no la

longitud, con una exactitud aceptable (diferencia relativa inferior al 100%). Para lograrlo, y adicionalmente mejorar la localización de los nudos con frutos, se colocaron balotas de colores en las ramas (Figura 4), obteniendo las imágenes presentadas en la Figura 5 y los resultados presentados en la Tabla 2 en un árbol de café variedad Colombia, de 30 meses de edad, sembrado con distancia de siembra de 1,5 m x 2,0 m.

De acuerdo con los valores presentados en la Tabla 2, con el método 1 modificado puede describirse con exactitud la distribución de las ramas primarias, las ramas con frutos y el número de nudos presentes. Al momento de la evaluación, se observó que el tercio medio es el que posee, descriptivamente, mayor cantidad de ramas primarias, ramas con frutos y nudos con frutos. En el tercio inferior se encuentra el 33% de las ramas, el 27,8% de las ramas productivas y el 30,4% de los frutos. En los tercios medio e inferior se encuentra el 79,6% de la producción de café del árbol, de acuerdo con los resultados obtenidos en la validación de la metodología modificada.

Tabla 2. Distribución de las ramas primarias, con frutos y nudos, en los tercios del árbol obtenida con el método 1 modificado.

Estructura	Tercio del árbol								
	Inferior			Medio			Superior		
	Real	Estimado	Diferencia	Real	Estimado	Diferencia	Real	Estimado	Diferencia
Ramas primarias									
Número	20,0	20,0	0,0	22,0	22,0	0,0	18,0	18,0	0,0
Porcentaje	33,3	33,3	0,0	36,7	36,7	0,0	30,0	30,0	0,0
Ramas con frutos									
Número	10,0	10,0	0,0	17,0	17,0	0,0	9,0	9,0	0,0
Porcentaje	27,8	27,8	0,0	47,2	47,2	0,0	15,0	15,0	0,0
Nudos									
Número	76,0	76,0	0,0	123,0	123,0	0,0	51,0	51,0	0,0
Porcentaje	30,4	30,4	0,0	49,2	49,2	0,0	20,4	20,4	0,0

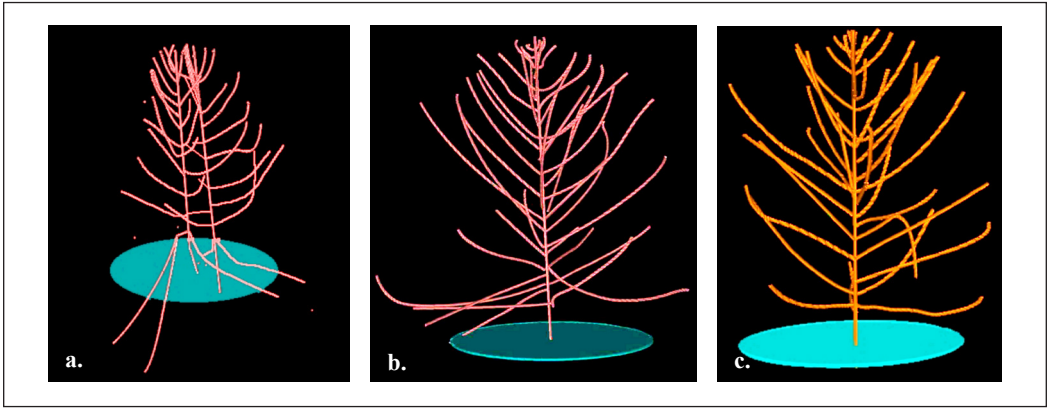


Figura 3. Figuras en 3D, de árboles representativos en cada lote. **a.** Lote 1 en la Estación El Rosario; **b.** Lote 2 en la Estación El Rosario; **c.** Lote Estación Central Naranjal.



Figura 4. Árboles de café con balotas de colores en las ramas.

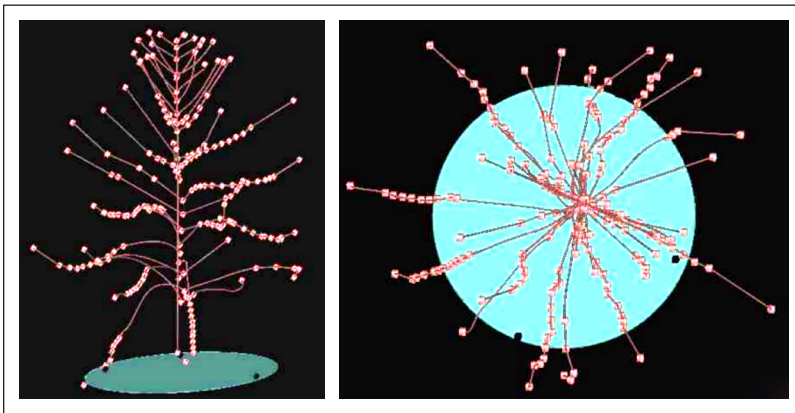


Figura 5. Vistas frontal y en planta de un árbol de café, obtenidas con el método modificado.

En la Tabla 3 se presentan valores medios de la longitud de las ramas de café por árbol, con cada uno de los métodos y la diferencia relativa entre éstos. De igual manera, por lote - árbol, se presenta la media y su intervalo con un coeficiente de confianza del 95%. Para el lote en la Estación Central Naranjal, las diferencias relativas presentaron un valor promedio de 8,26% con un intervalo de 3,86% y 12,66%, para un coeficiente de

confianza del 95%. En el lote 1 de la Estación Experimental El Rosario, el promedio de la diferencia relativa fue 8,43%, con intervalo de 4,71% y 12,14%, y 12,68% en el lote 2 con intervalo de 9,16% y 16,20%, para un coeficiente de confianza del 95%.

La diferencia relativa promedio entre los dos métodos es igual estadísticamente, en los tres lotes evaluados, según prueba

Tabla 3. Longitud media por rama - árbol, obtenida con los dos métodos y la diferencia relativa por árbol.

Árbol	Estación Experimental El Rosario						Estación Central Naranjal		
	Lote 1			Lote 2			Método 1 cm	Método 2 cm	Diferencia relativa, %, (valor absoluto)
	Método 1 cm	Método 2 cm	Diferencia relativa, %, (valor absoluto)	Método 1 cm	Método 2 cm	Diferencia relativa, %, (valor absoluto)			
1	51,50	53,95	4,54	67,15	62,60	7,27	46,05	47,44	2,92
2	54,80	56,30	2,66	55,64	53,55	3,90	67,80	71,40	5,04
3	37,00	44,35	16,57	50,42	45,50	10,81	62,80	58,75	6,89
4	24,90	32,10	22,43	56,61	59,90	5,49	58,90	64,90	9,24
5	33,80	47,75	29,21	56,28	49,95	12,67	59,90	65,60	8,69
6	45,30	50,55	10,39	47,37	50,00	5,26	76,10	74,40	2,28
7	41,10	43,75	6,06	61,41	53,55	14,68	81,70	85,45	4,39
8	42,90	48,40	11,36	67,60	53,35	26,71	79,11	78,56	0,71
9	57,10	59,10	3,38	55,66	54,45	2,22	65,70	56,40	16,49
10	40,10	47,40	15,40	63,73	51,25	24,35	66,30	71,90	7,79
11	51,63	53,20	2,95	62,78	55,30	13,53	68,11	78,44	13,17
12	42,40	41,60	1,92	56,32	52,95	6,36	76,20	72,45	5,18
13	45,60	49,75	8,34	57,46	48,65	18,11	67,20	75,55	11,05
14	56,10	56,05	0,09	58,30	49,95	16,72	66,20	64,95	1,92
15	42,50	44,85	5,24	53,70	44,85	19,73	74,60	69,95	6,65
16	45,10	45,84	1,61	58,18	45,85	26,89	37,60	67,50	44,30
17	48,10	57,75	16,71	61,48	57,80	6,37	47,90	49,90	4,01
18	62,10	63,25	1,82	72,31	63,25	14,32	67,70	74,40	9,01
19	48,90	48,10	1,66	53,12	48,10	10,44	77,50	80,05	3,19
20	51,80	48,75	6,26	52,51	48,75	7,71	80,22	82,11	2,30
Promedio			8,43			12,68			8,26
Límite inferior, 95%			4,72			9,16			3,86
Límite superior, 95%			12,14			16,20			12,66
D.E.			7,93			7,52			9,40

D.E.: Desviación estándar

t, al 5%. En general, independientemente del lote, la diferencia absoluta relativa entre los dos métodos es del 5,4%, con límites inferior y superior de 4,2% y 6,61%, respectivamente, con un coeficiente de confianza del 95%. El 66% de los árboles presenta una diferencia relativa menor del 10% (Figura 6).

En la Figura 6 se presenta la frecuencia acumulada para las diferencias relativas obtenidas en los tres lotes. El promedio de la diferencia relativa fue de 9,79%, con intervalo de 7,61% y 11,97%, con un coeficiente de confianza del 95%.

Finalmente, puede concluirse que la fotogrametría con el empleo de un programa para el procesamiento de las imágenes (Photo

Modeler Pro 4.0), es una herramienta que permite en forma ágil, generar imágenes tridimensionales de árboles de café, a partir de las cuales puede obtenerse información morfológica de importancia para estudios en cosecha manual y mecanizada, y con fines agronómicos. Para obtener mejores resultados se requiere defoliar los árboles y colocar balotas de colores en las ramas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al personal de la Estación Central Naranjal y de la Estación Experimental El Rosario por el apoyo para las mediciones de campo, también al personal científico de la disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé.

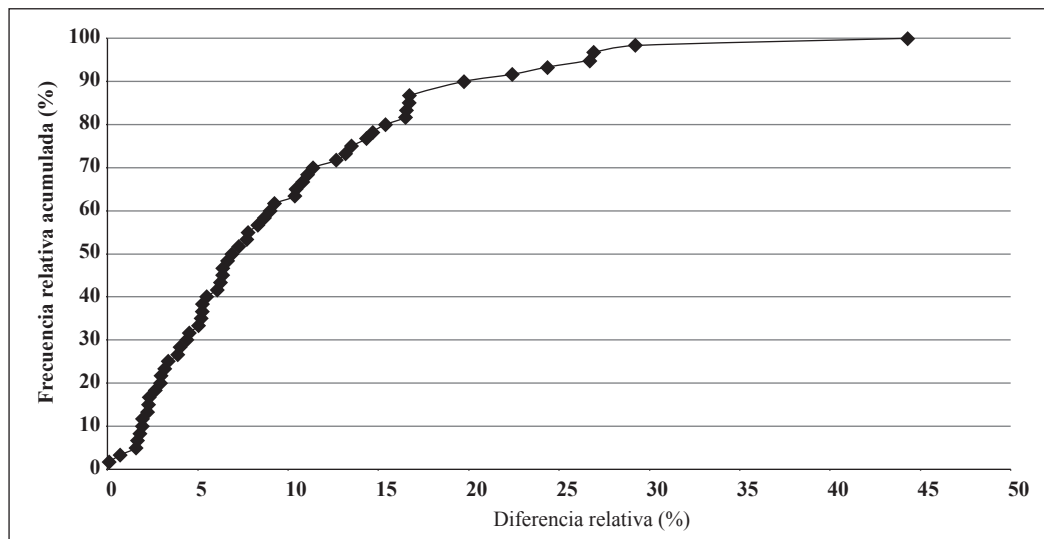


Figura 6. Frecuencia acumulada para la diferencia relativa de longitud de ramas de café reales y obtenidas (estimadas) con la metodología modificada en el campo.

LITERATURA CITADA

1. ÁLVAREZ M., F. Cosechador de café por vibración del follaje "COVAUTO". p. 50-75. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades 1999. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 92 p.
2. ÁLVAREZ T., E.; ÁLVAREZ M., F.; OLIVEROS T., C.E.; MONTOYA R., E.C. Propiedades físico-mecánicas del fruto de café y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. Revista facultad nacional de agronomía Medellín 52(2):701-732.1999.
3. ARCILA P., J. Foliage development and production of the coffee plant. En: Colloque scientifique international sur le café. (14 : 2-6 1990 : San Francisco). San Francisco : ASIC, 1990. 5 p.
4. ARISTIZÁBAL T., I.D.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ M., F. Evaluación del principio de vibración lateral en múltiples puntos del follaje para la cosecha mecanizada de café. Revista facultad nacional de agronomía Medellín 56(1):1849-1864. 2003.
5. ARISTIZÁBAL T., I.D. Physical and mechanical properties of the coffee tree related to harvest mechanization. Transactions of the ASAE 46(2):197-204. 2003.
6. BETANCUR A., G.M. Estudio sobre la distribución espacial de la fructificación en el árbol de café *Coffea arabica* L.V. Medellín : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agrarias, 2001. 124 p. Tesis: Ingeniera agrónoma.
7. DIAZ G., D.; RAMÍREZ G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; MORENO C., E.L. Cosecha de café con el equipo STIHL SP-81 de actuadores oscilantes. Cenicafé 60(1):41-57. 2009.
8. GODIN, C.; COSTES, E.; SINOQUET, H.A. A method for describing plant architecture which integrates topology and geometry. Annals of botany 84:343-357. 1999.
9. HONGCHUN, Q.; LINQIN, C.; ZHONGHUA, L.; YOULAN, W. Automatic extraction of ramification pattern for living plants: A review. Scientific research and essays 5(23):3550-3563. 2010.
10. ISAZA G., L.E.; MONTOYAR., E.C.; VÉLEZ Z., J.C.; OLIVEROS T., C.E. Evaluación de la concentración de los frutos maduros de café empleando técnicas no selectivas de recolección manual. Cenicafé 57(4):254-287. 2006.
11. LONDOÑO, H.D.; OLIVEROS T., C.E.; MORENO S., M.A. Desarrollo de una herramienta manual para asistir la recolección de café en Colombia. Cenicafé 53(2):93-105. 2002.
12. LÓPEZ F., H.A.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A. Disminución del costo unitario de la cosecha de café con el empleo de un método de recolección manual asistido. Cenicafé 57(4):262-273. 2006.
13. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; BUENAVENTURA A., J.D.; SANZ U., J.R. Diseño y evaluación de una herramienta para agilizar la cosecha manual de café. Cenicafé 56(1):37-49. 2005.
14. PHOTOMODELER®. [En línea]. Vancouver : Eos Systems, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.photomodeler.com>. Consultado en Diciembre de 2011.
15. RAMÍREZ G., C.A.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; ACOSTA A., R.; BUENAVENTURA A., J.D. Desgranador mecánico portátil para la cosecha del café: Descafé. Cenicafé 57(2):122-131. 2006.
16. REFFYE, PH. DE. Simulation de la croissance de cinq cultivars (*Coffea arabica* L.) par l'analyse des cimes. Café cacao thé 35(3):177-190. 1991.
17. REFFYE, PH. DE.; SNOECK, J.; JAEGER, M. Modélisation et simulation de la croissance et de l'a architecture du caféier. p. 523-546. En: Colloque scientifique international sur le café. (13 : Agosto 21-25 1989 : Paipa). Paipa : ASIC, 1989. 24 p.
18. RHINOCEROS. [En línea]. Seattle : McNeel North America, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.rhino3d.com>. Consultado en Diciembre 27 de 2011.
19. SALAZAR A., J.N.; OROZCO C., F.J.; CLAVIJO P., J.F. Características morfológicas, productivas y componentes del rendimiento de dos variables de café: Colombia y Caturra. Cenicafé 39(2):43-60. 1988.
20. SALAZAR A., N.J. Análisis de factores morfológicos relacionados con la producción en cinco variedades de café de porte bajo. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias agrarias, 1988. 98 p. Tesis: Magíster scientiae en ingeniería agronómica.
21. SNOECK, D. Simulation de la croissance de cinq cultivars *Coffea arabica* L. par l'analyse des cimes. Café cacao thé 35(3):177-190. 1991.

22. VÉLEZ Z., J.C.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual de café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 91 p. (Boletín Técnico No. 21).
23. VILLEGAS B., M.J.; MONTOYA R., E.C.; VÉLEZ Z., J.C.; OLIVEROS T., C.E. Desempeño de los recolectores de café según la altura de la plantación. Cenicafé 56(1):19-36. 2005.

SISTEMA DE MALACATE Y VAGÓN PARA TRANSPORTE DE CAFÉ EN CEREZA EN CONDICIONES DE ALTA PENDIENTE

Juan Rodrigo Sanz-Uribe*; Carlos Eugenio Oliveros-Tascón*; César Augusto Ramírez-Gómez*;
María Teresa Londoño-González**

RESUMEN

SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; LONDOÑO G., M.T. Sistema de malacate y vagón para transporte de café en cereza en condiciones de alta pendiente. Revista Cenicafé 62(2): 100-110. 2011

Se evaluó un equipo diseñado para transportar café en cereza, consistente de un malacate accionado por un motor de 9,56 kW y un vagón con capacidad para transportar hasta 225 kg de café en cereza. El equipo se evaluó en un terreno con pendiente de 100% y longitud de 100 m, en suelo de la unidad Chinchiná. Se realizaron cuatro ensayos con carga de 125 y 225 kg de café en cereza, en cada uno se transportó el café 10 veces sobre las mismas huellas, y se midió la densidad aparente del suelo a profundidades de 5, 12 y 20 cm, antes y después de pasar con el vagón. Se registró una capacidad máxima de transporte de 8.647 kg.h⁻¹, consumo específico de combustible de 3,94 L/(t.h.km⁻¹), potencia específica de 1,11 W.kg.h⁻¹ y costo específico de \$ 29.736.kg.h⁻¹.km. No hubo compactación de los suelos en alguna de las profundidades evaluadas, como consecuencia del empleo del sistema. La nueva tecnología puede utilizarse en los lotes para transportar el café recolectado y otros materiales como colinos de café y fertilizantes, entre otros. La tecnología diseñada y evaluada es una alternativa para transportar café en fincas, con mejores características técnicas, económicas y ambientales que las que actualmente se usan en Colombia.

Palabras clave: Compactación de suelos, capacidad de transporte, consumo de combustible, potencia específica.

ABSTRACT

A piece of equipment designed to transport coffee cherry, consisting of a winch powered by an engine of 9.56 kW and a wagon capable of carrying up to 225 kg of coffee berries was evaluated. The equipment was evaluated on a hillside up to 100% and a distance of 100m in the soil of the Chinchiná unit. Four trials with a load of 125 and 225 kg of cherry coffee were carried out. In each trial, coffee was transported 10 times on the same tracks and the soil bulk density was measured at depths of 5, 12 and 20 cm before and after the wagon passed. A maximum carrying capacity of 8.647 kg/h, a specific fuel consumption of 3.94 L/(t/h/km), a specific power of 1.11 W/kg/h and a specific cost of \$29.736/kg/h/km were registered. There was no soil compaction in any of the evaluated depths as a consequence of the system use. The new technology can be used in the plots to transport the collected coffee and other materials like nursery coffee plants and fertilizers, among others. The technology designed and evaluated is an alternative to transport coffee in farms with better technical, economic and environmental characteristics than those currently used in Colombia.

Keywords: Soil compaction, transport capacity, fuel consumption, specific power.

* Investigador Científico II, Investigador Principal, Investigador Científico I, respectivamente. Disciplina de Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

** Investigadora asociada a la Disciplina de Ingeniería Agrícola (hasta diciembre de 2006). Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

La zona cafetera colombiana comprende 3,3 millones de hectáreas, de las cuales 914.000 ha (27,7%) están sembradas en café (4), distribuidas en las vertientes de las cordilleras Occidental, Central y Oriental, en terrenos con pendiente moderada a fuerte (25% a 100%), con suelos principalmente derivados de cenizas volcánicas, que se caracterizan por presentar buenas propiedades físicas, altos contenidos de materia orgánica y alta capacidad de almacenamiento de agua, durante prácticamente todo el año (7).

La cosecha de café se realiza de forma manual durante prácticamente todo el año. Los frutos de café una vez recolectados y empacados en costales, con capacidad de 40 a 60 kg, son transportados desde los lotes hasta los sitios de acopio, en las fincas de mayor producción, o hasta la tolva de recibo del beneficiadero, utilizando diferentes medios, dependiendo de factores como la distancia a recorrer desde los lotes hasta los centros de acopio o el beneficiadero, de la topografía y condiciones del terreno, del costo y del flujo de cosecha, entre otros.

El transporte de los productos agrícolas desde los lotes hasta los sitios de acopio o de procesamiento es de gran importancia económica y puede afectar el rendimiento técnico y económico de los procesos, y la calidad del producto obtenido. Para el caso del café, se recomienda que el tiempo transcurrido entre la cosecha y el recibo en el beneficiadero sea máximo de 10 horas (14).

Entre las tecnologías utilizadas para el transporte de café en las fincas en Colombia se tiene:

Transporte manual. La carga se transporta al hombro ascendiendo o descendiendo en terrenos muy húmedos, generalmente, con pendiente de hasta 100% y distancias de

hasta 1 km. Dado lo arduo de esta labor, los recolectores tienen la tendencia a requerir a los caficultores que faciliten esta labor con la implementación de algún medio de transporte.

Adicionalmente, en el Estatuto de Seguridad Industrial, en la resolución 02400 de 1979, en el artículo 390 cita que para un individuo levantar un objeto desde el suelo sin detrimento de su salud, debe tener un peso inferior a 25 kg si es hombre y 12,5 kg si es mujer. El mismo estatuto en el artículo 392 dice que si el objeto es levantado entre dos o más individuos y llevado al hombro por uno de ellos, éste debe pesar máximo 50 kg si es hombre y 20 kg si es mujer. En el estudio de tiempos y movimientos en la cosecha de café realizado por Vélez *et al.* (20), registró que el decreto en mención no se cumple en las fincas cafeteras, porque solamente en el 5,9%, de un total de 187 casos, se levantaron cargas inferiores o iguales a 25 kg, y porque en el 61% de los casos la carga fue de 50 kg o menos.

Transporte animal. El uso de animales para el transporte dentro de la finca ha sido empleado a través de la historia y se continúa usando en la actualidad en países en vía de desarrollo; en África, por ejemplo, sigue siendo la alternativa viable (1, 18). En Colombia, el uso de tracción animal ha sido también parte de la historia cafetera pero se ha sustituido casi totalmente por el transporte al hombro de personas o por el transporte motorizado. No obstante, en fincas en las que se mantiene el transporte de café en cereza con mulas (Figura 1), es considerado un sistema económico, ya que los animales tienen un valor inicial relativamente bajo (una mula puede costar \$ 2 millones en promedio), su vida útil puede ser hasta de 25 años y su sostenimiento menor a \$ 100.000/año, si se dispone de potreros u otras formas de

proveer pasto. Sin embargo, en los ejercicios económicos de los usuarios no entra el valor de los caminos y su mantenimiento, lo mismo que el valor de los operarios que arrean, cargan y descargan las mulas, los cuales incrementan considerablemente los costos.

Las mulas tienen una capacidad máxima de 160 kg por tanda, y cargadas son capaces de andar a una velocidad promedio de $4,0 \text{ km.h}^{-1}$, lo que da una capacidad entre 640 kg.h.km^{-1} .

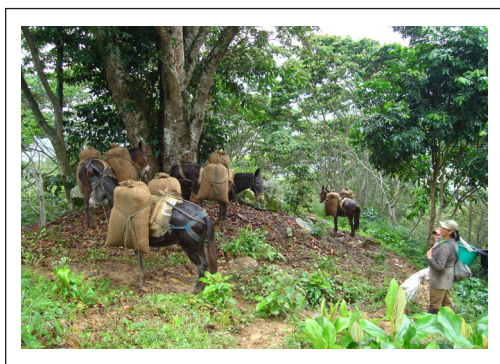


Figura 1. Transporte de café con mulas.

Transporte en vehículo. El transporte en camperos o en volquetas se utiliza en fincas grandes, con vías internas que comunican los lotes con los sitios de acopio y con el beneficiadero. Sin embargo, adicional a la compra o alquiler del o los vehículos y del pago de personal para conducirlos y para manejar la carga, se requiere gran inversión para la construcción de las vías y su mantenimiento.

Cafeductos. En este sistema se aprovecha la pendiente y un caudal de agua para transportar el café en cereza desde los lotes hasta el beneficiadero, utilizando una red de tuberías de PVC, que con ayuda de un flujo de agua y de la gravedad, permite diferentes lugares de alimentación a lo largo

del trayecto. La capacidad de transporte en terrenos cuya pendiente se encuentre entre 3,5% y 36,4% es independiente del diámetro de la tubería utilizada (11). La principal desventaja que posee este sistema corresponde a la contaminación del agua utilizada. Se recomienda recircular el volumen de agua, pero esta labor incrementa los costos de inversión y de operación del cafeducto.

Transporte por cable aéreo. El transporte por cable aéreo puede ser por gravedad o motorizado, dependiendo de la ubicación de los lotes y el beneficiadero. El primero consiste de un cable de acero apoyado en dos soportes, sobre el cual se mueve una carga desde un punto elevado hasta un punto ubicado en un nivel inferior, utilizando la energía potencial por la diferencia de alturas (10). Este sistema es muy utilizado en terrenos que presentan depresiones, pero solamente puede ser transportada una carga a la vez para evitar el descarrilamiento de las poleas. Para pendientes mayores al 15% se debe implementar un sistema para controlar la velocidad de las cargas.

El cable aéreo motorizado permite el traslado de café cereza, tanto en sacos como a granel, en una vagoneta metálica mediante tracción, desde un punto inferior a otro de mayor altura. Además, es muy versátil puesto que permite establecer tramos rectos y curvos (12, 13). Aunque la inversión resulta menor que el transporte en vehículos en carreteras internas dentro de la finca, la inversión inicial y los costos de operación siguen siendo muy elevados para pequeños y medianos caficultores.

El cable aéreo motorizado es utilizado ampliamente en el transporte de otros productos agrícolas y forestales. Según Lloyd (8), con este sistema se puede transportar madera cuesta arriba, cuesta abajo o en terreno llano.

Las mejores condiciones de seguridad se logran con pendiente máxima de 100% (8).

En cultivos de palma de aceite es importante el tiempo transcurrido desde el corte de los racimos hasta su llegada a la planta de extracción de aceite, ya que puede afectar la calidad del producto e incidir en el precio, de acuerdo con Calvo (1991) y Franco (1997), citados por López (9). Para transportar los racimos desde los lotes se utilizan góndolas remolcadas con tracción animal o tractor, camiones con cargue y descargue manual o mecanizado, tractomulas y cable vía. El costo del transporte de los racimos por tonelada de aceite representa el 9% de los costos totales (9).

Con cable vía, Fontanilla y Castiblanco (5) reportan una disminución en el costo de transporte de racimos de palma de aceite hasta del 30%; con ventajas adicionales como ahorro en la construcción y el mantenimiento de vías. Como desventaja se menciona la dificultad para operar el sistema que hala la carga sobre el cable vía (denominado tractor) por la reducción de la fricción en días lluviosos (5).

Castiblanco y Mosquera (2) evaluaron los sistemas alce manual y cable vía utilizados en la evacuación de racimos de palma de aceite desde los lotes, encontrando ventajas económicas con el cable vía en áreas relativamente grandes, por los altos costos de construcción y mantenimiento de las vías cuando se utiliza alce manual y transporte hasta los sitios de acopio en camión o volqueta.

Vehículos dentro del lote. Éste es el sistema menos conocido para emplear en plantaciones de café, el cual se usa exitosamente en viñedos plantados en altas pendientes (3, 17). El sistema consiste en un malacate y

un vagón que se mueve hacia arriba y hacia abajo dentro de la plantación por medio de un cable, el cual se presume de mínimo impacto sobre el suelo, porque al ser halado no existe desplazamiento relativo entre las ruedas del vagón y el suelo, considerado como principal causante de erosión. Así mismo, la compactación del suelo puede ser manejada distribuyendo la carga de la vagoneta sobre el área de contacto de las ruedas con el suelo. En un estudio, Sanz (17) determinó los esfuerzos en función de la profundidad causados a un suelo de textura franco-arenosa cuando pasa una rueda de un vehículo; en las Figuras 2 y 3 se muestra la distribución de esfuerzos normales y transversales sobre el suelo, respectivamente, cuando se utiliza una presión de contacto de 63 kPa, la cual es similar a la que causa una persona desplazándose sobre la plantación.

En esta investigación se evaluó un prototipo para el transporte de café en cereza en laderas el cual puede ser una alternativa para el movimiento del café hasta los centros de acopio dentro de la finca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Esta investigación se desarrolló en la Estación Central Naranjal del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé, ubicada a 4° 59' latitud Norte, 75° 39' longitud Oeste, localizado en el municipio de Chinchiná (Caldas), a una altitud de 1.400 m, con un promedio de temperatura 20,8°C, humedad relativa del 78,% y precipitación anual de 2.656 mm.

Metodología. La investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en el diseño, construcción y puesta a punto del sistema de transporte, y la segunda consistió en la evaluación del sistema de transporte en el campo.

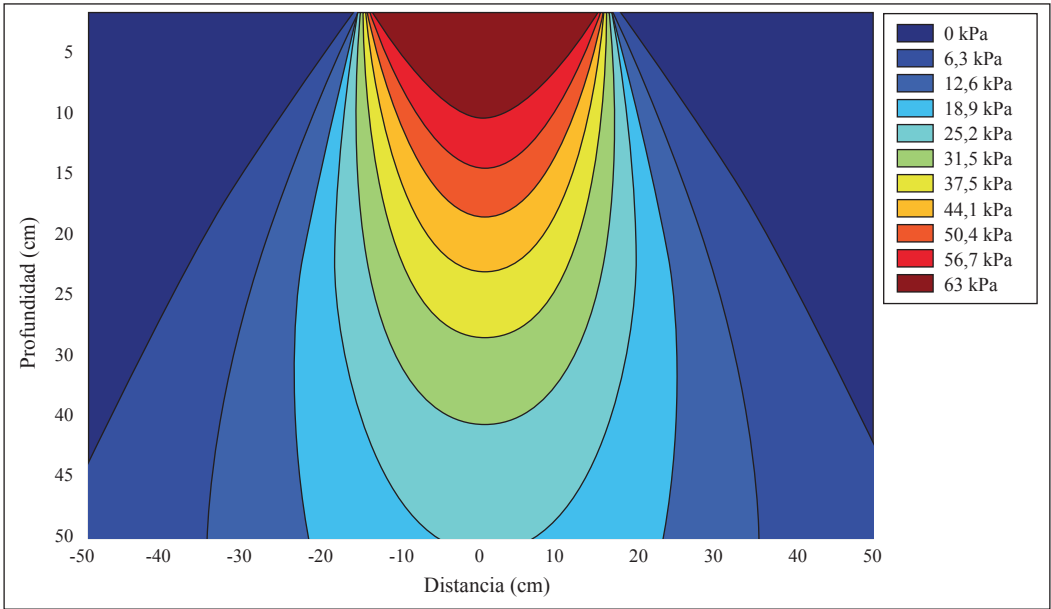


Figura 2. Distribución de esfuerzos normales sobre un suelo franco-arenoso con una presión de contacto de 63 kPa.

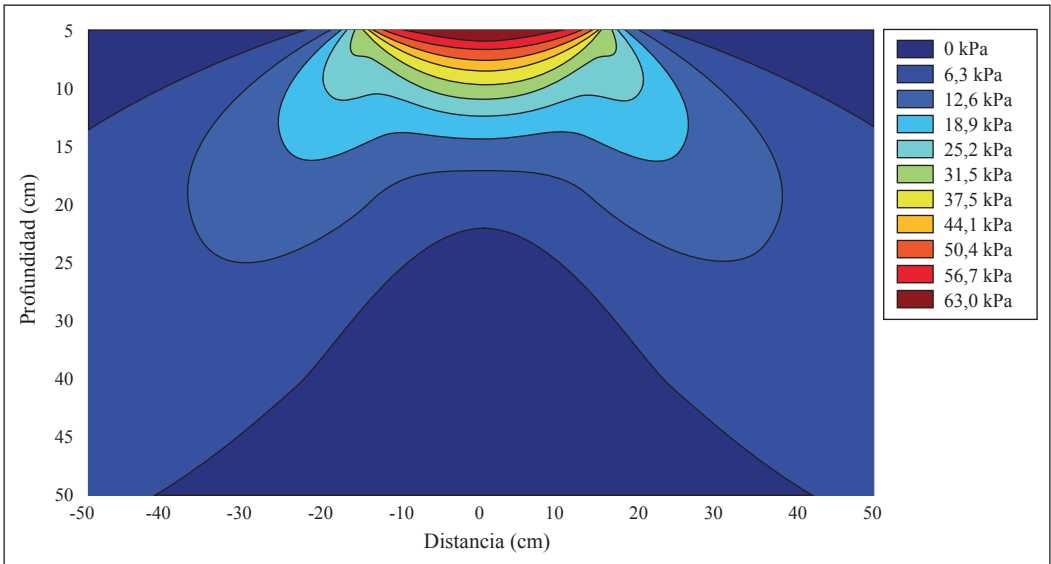


Figura 3. Distribución de esfuerzos transversales sobre un suelo franco-arenoso con una presión de contacto de 63 kPa.

Diseño, construcción y puesta a punto.
Existen diferentes metodologías para realizar el diseño de un producto de una manera

ordenada, que conlleve a un desarrollo con alta probabilidad de éxito. Una de las principales tendencias que se sigue en el diseño

moderno de productos es la filosofía DEM (*Design for Economic Manufacture*), la cual consiste en considerar que el producto sea económicamente viable desde la concepción hasta la comercialización. Para este fin se empleó la siguiente metodología estructurada de diseño, de acuerdo con la filosofía DEM (6, 17, 19):

1. Planteamiento del problema a solucionar
2. Establecimiento de las especificaciones de diseño a cumplir
3. Determinación de las diferentes opciones para solucionar el problema
4. Selección del concepto con mayor viabilidad
5. Diseño detallado de las partes que conforman ese concepto
6. Evaluación del diseño hasta que cumpla con las especificaciones de diseño

Dentro de cada uno de los pasos se realizaron evaluaciones que condujeron a ciclos de diseño, los cuales consistieron en devolverse a pasos anteriores si no se cumplía con las especificaciones de diseño.

Identificación del problema. El problema identificado radicó en la dificultad que tienen tanto los recolectores en el transporte de café en cereza y el costo para los caficultores.

Especificaciones de diseño. Las especificaciones básicas de diseño que se quisieron cumplir en esta investigación fueron obtener un sistema de transporte confiable, robusto, sencillo, seguro, de bajo costo, que produjese baja erosión y baja compactación del suelo, transportando una carga de 225 kg a una velocidad promedio de 3,5 km/h.

Generación de conceptos. Para el cumplimiento de esta etapa se empleó una

carta morfológica (6, 17), la cual consistió en la construcción de una tabla donde se incluyeron las funciones básicas que debía cumplir la solución y las diferentes opciones que pudieran realizar esa función. La carta morfológica permitió obtener un conjunto de soluciones a evaluar en la siguiente etapa del diseño.

Evaluación de conceptos. El conjunto de soluciones obtenido de la etapa previa se evaluó para obtener un número más reducido de soluciones a diseñar de manera más detallada. En este sentido, se empleó la Técnica de Convergencia Controlada (6, 17), que consistió en la comparación de manera iterativa de las diferentes opciones hasta que se seleccionaron una o dos como las mejores.

Análisis y diseño detallado. Para cumplir esta etapa se utilizó el programa Mechanical Desktop® para diseño dimensional y para el análisis estructural se utilizó el programa SAP 2000® (Structural Analysis Program). Además de la resistencia mecánica de los elementos, en el diseño se tuvo en cuenta la seguridad, la facilidad de construcción, el peso y la envergadura, los materiales, la facilidad de consecución de los mismos, la facilidad para el mantenimiento, la facilidad para realizar las pruebas y la estética.

Evaluación del diseño. Cuando se terminó el diseño se practicó un examen en el cual se calificó el cumplimiento de las especificaciones de diseño. Cuando éstas se cumplieron de manera satisfactoria se consideró listo el diseño para iniciar la etapa de construcción y puesta a punto.

Construcción y puesta a punto. Posterior a la construcción se realizaron las labores necesarias para poner a punto el producto diseñado antes de su evaluación.

Evaluación en el campo del sistema de transporte.

Las pruebas se realizaron en una parcela de 0,3 ha, con pendiente de 100% y longitud aproximada de 100 m. Se utilizó el equipo con dos cargas de café, 125 kg y 225 kg, la carga máxima del diseño. El café se depositó en sacos, cada uno con 25 kg, teniendo en cuenta la resolución 2400 de 1979 del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social sobre carga máxima permitida para varones. Para cada carga de café se realizaron cuatro repeticiones, cada 15 días. Para la operación del equipo se necesitaron dos personas.

Para cada carga, el vagón se desplazó sobre el terreno, 20 veces. En cada desplazamiento se registró la siguiente información:

- Velocidad media de transporte, en ascenso y descenso
- Distancia recorrida
- Tiempo
- Consumo de combustible

Adicionalmente, mediante el método de los cilindros, en las huellas dejadas por las ruedas del vagón, cuatro muestras por huella, se midió la densidad aparente del suelo al iniciar y finalizar cada una de las pruebas. Se utilizó un cilindro de 5,36 cm de diámetro y una altura de 3 cm, para penetrar el suelo hasta una profundidad de 5 cm, 12 cm y 20 cm. Se eliminaron las partes superior e inferior de la muestra de suelo para garantizar una muestra sin disturbar y se determinó su contenido de humedad en la estufa a 105°C por 48 horas. A los datos se les realizó un análisis descriptivo y se le construyó intervalo para el promedio, con un coeficiente de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equipo de transporte diseñado estuvo constituido básicamente de dos partes: un malacate y un vagón. Los dos sistemas se unieron a través de una soga de fibra plástica que se utiliza para halar o dejar bajar controladamente el vagón en las plantaciones de café.

El malacate (Figura 4) está compuesto principalmente por un motor de combustión interna de 9,56 kW (13 hp) y un sistema de reducción con relación total de 140:3, conformado a su vez por un reductor de tornillo sinfin y corona con relación 20:1, y una transmisión por cadena de rodillos con relación 49:21. Adicionalmente, al sistema de malacate se le adicionó un embrague de bandas y poleas que funciona tensionando o distensionando una transmisión a través de un mecanismo de biela-manivela-deslizador, un sistema de rueda libre para evitar la resistencia causada por el movimiento del sistema de reducción cuando el vagón baja, un sistema de freno de doble zapata sobre tambor externo, con capacidad para 10 toneladas, y un par de ruedas frontales para darle la posibilidad de ubicarlo en la parte alta de terrenos donde se va a subir la carga.



Figura 4. Malacate.

El tambor del malacate es un tubo de 30 cm de diámetro, el cual tiene la posibilidad de enrollar la cuerda a una velocidad media de $3,5 \text{ km.h}^{-1}$, produciendo un par torsor de 375 N.m, el cual es suficiente para subir la carga deseada por una pendiente de hasta 100%. Se empleó una soga de 19 mm de diámetro ($\frac{3}{4}$ ") y una longitud de 125 m, con capacidad para resistir hasta 56,9 kN de carga.

El vagón, con un peso de 75 kg, consiste en una plataforma metálica de 60 cm x 120 cm, a la cual se le instalaron cuatro ruedas metálicas de 40 cm de diámetro y 15 cm de ancho (Figura 5). Con el ánimo de reducir el peso de la estructura se complementó con tablas y listones de madera tipo carrocería, con la posibilidad de remover las puertas para agilizar la carga de la plataforma. La altura del vagón fue de 60 cm. Todos los elementos fueron calculados para resistir una carga máxima de 225 kg de café en cereza y las ruedas fueron diseñadas para producir una presión de contacto menor a la que causa una persona caminando, estimada en 63 kPa (17).

En la Figura 6 se presenta el equipo transportando café en terreno con pendiente del 100%.



Figura 5. Vagón con ruedas metálicas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos con el equipo transportando 125 kg y 225 kg de café en el vagón.

Capacidad de transporte. El promedio de la capacidad de transporte en el terreno utilizado para evaluar el equipo (pendiente de 100% y longitud de 100 m) fue de $4.488,3 \text{ kg.h}^{-1}$ transportando 125 kg en el vagón y $8.646,6 \text{ kg.h}^{-1}$ con 225 kg en el vagón. Considerando 2 horas de trabajo diarias, con las capacidades anteriores se podría transportar hasta $17.293 \text{ kg.día}^{-1}$, cantidad de café que se podría recolectar en el día de mayor flujo de cosecha (día pico), en una finca con producción anual de 172.932 kg de café pergamino al año. Para efectos de comparación con otros sistemas, las unidades se transformaron a capacidad específica por kilómetro, de tal manera que las capacidades serían de $448,8 \text{ kg.h}^{-1}.\text{km}$ (125 kg de café cereza) y $864,7 \text{ kg.h}^{-1}.\text{km}$ (225 kg de café cereza). El valor mayor es superior a la capacidad de una mula

Consumo de combustible. El consumo de gasolina corriente varió de 3,9 a $6,9 \text{ L}/[\text{t.h}.\text{km}^{-1}]$; el menor valor se obtuvo cuando se transportaron 225 kg en el vagón. Este resultado podría atribuirse al mejor



Figura 6. Equipo diseñado para transportar café en terrenos de alta pendiente.

Tabla 1. Resultados obtenidos con el equipo diseñado para transportar café en terrenos de alta pendiente.

Ensayo	Capacidad kg.h ⁻¹		Consumo combustible L/[t.h-km ⁻¹]		Potencia específica (W.kg-h ⁻¹)		Costo específico \$/ [t.h-km ⁻¹]	
	Carga transportada (kg)		Carga transportada (kg)		Carga transportada (kg)		Carga transportada (kg)	
	125	225	125	225	125	225	125	225
1	4.463,8	8.375,4	6,72	4,06	2,14	1,14	51.798,8	30.381,0
2	4.507,3	8.928,6	7,12	3,81	2,12	1,07	50.714,6	29.392,6
3	4.780,7	8.438,8	6,34	4,03	2,00	1,13	47.996,9	29.678,2
4	4.201,6	8.843,7	7,24	3,84	2,28	1,08	54.801,6	29.493,1
Media	4.488,3	8.646,6	6,86	3,94	2,13	1,11	51.328,0	29.736,2
D.E.	237,1	279,9	0,41	0,13	0,11	0,04	2.814,3	445,8

aprovechamiento de la energía entregada por el motor del equipo con la mayor carga.

Potencia específica. Se calculó la potencia específica considerando la potencia instalada en el equipo (9,56 kW) y la carga transportada (kg.h⁻¹) para las dos condiciones consideradas (125 y 225 kg). El menor valor de potencia específica se obtuvo transportando 225 kg de café en cereza por hora, 1,11 W.kg-h⁻¹ (D.E. 0,04 W.kg-h⁻¹), que indica mejor aprovechamiento de la potencia instalada.

Costo específico. Se estimó el costo específico de utilizar el equipo considerando:

Costo del equipo: \$ 10.000.000
 Vida útil: 2.000 h
 Valor residual: 0
 Depreciación lineal: \$ 5.000
 Consumo de combustible, L.h⁻¹: 3,4
 Costo de combustible, \$/h: 7.605,3
 Mano de obra requerida, jornales: 2
 Valor jornal; \$: 25.000
 Costo de mano de obra, \$/h: 10.000
 Costo de operación del equipo, \$/h: 22.625,3

Con la información anterior se observa que el costo de utilizar el equipo varía en promedio de \$ 29.736,2 a \$ 51.328/(t.h-km⁻¹). A partir de esta información se podría estimar

el costo de transporte para una determinada carga y recorrido (longitud).

Los valores obtenidos de densidad aparente del suelo en las huellas dejadas por el vagón se presentan en las Figuras 7 y 8. Los valores de densidad aparente obtenidos con y sin carga son similares a los reportados por Salamanca (15), para suelos de la unidad Chinchiná. Contrario a lo mencionado por Salamanca y Sadhegian (16), la densidad aparente del suelo no aumentó en los primeros 20 cm de suelo. Se observa que aunque el vagón realizó el mismo recorrido diez veces con cada carga, las densidades aparentes del suelo fueron estadísticamente iguales a las profundidades de 5, 12 y 20 cm. Estos resultados indican que la presión generada por la carga (peso del vagón + peso del café en cereza) no causa compactación del suelo, recorriendo 10 veces la misma trayectoria.

Finalmente, puede concluirse que:

La tecnología diseñada puede utilizarse para transportar café en cereza en terrenos con pendiente de 100%, con un promedio de capacidad de 8.647 kg.h⁻¹, en una longitud de 100 m, consumo específico de combustible de 3,94 L/(t.h-km⁻¹), potencia específica de

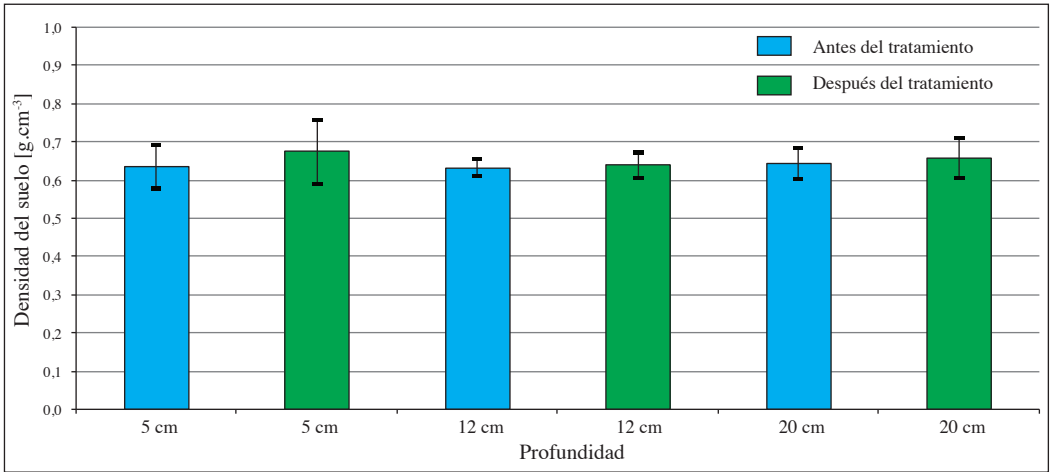


Figura 7. Densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, antes y después del tratamiento, para la carga de 125 kg.

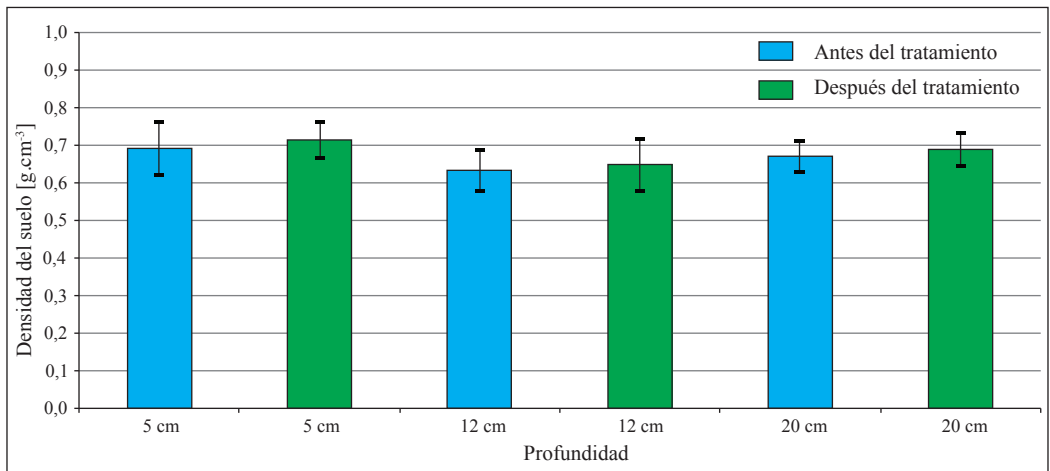


Figura 8. Densidad aparente del suelo a diferentes profundidades, antes y después del tratamiento, para la carga de 225 kg.

1,11 W/kg/h y costo específico de \$ 29.736/kg.h-km⁻¹ con el modelo diseñado.

No se observó compactación de los suelos en profundidades de 5 cm, 12 cm y 20 cm, como consecuencia de su empleo. La nueva tecnología puede utilizarse en los lotes para

transportar el café recolectado y otros materiales como colinos de café y fertilizantes, entre otros. La tecnología diseñada y evaluada podría ser una alternativa para transportar café en fincas con mejores características técnicas, económicas y ambientales que las disponibles en Colombia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al señor Diego Arango de la empresa INDUMA, fabricante del primer prototipo del Transcafé, así como sus ideas aportadas al desarrollo de esta investigación. De igual manera, agradecen al personal del taller de la disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé por su colaboración en la construcción de los prototipos experimentales.

LITERATURA CITADA

1. AYO O., J.; MUTYABA, C.; KALUNDA, P. Improving on-farm transport using animal draught power in two hilly districts of western Uganda. Mpumalanga [South Africa] : ATNESA, 1999. 344 p.
2. CASTIBLANCO, J.S.; MOSQUERA, M. Evaluación económica de dos sistemas de evacuación de fruto: Alce manual y cable vía. Revista palmas 31(1):33-42. 2009.
3. DIETRICH, J. Mechanisierung und produktionsplanung im steillagenweinbau. Darmstadt : KTBL, 1995.
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Colombia es café. [PDF]. Bogotá : FNC, 2011. 5 p.
5. FONTANILLAD., C.A.; CASTIBLANCO, J.S. Cable vía en la cosecha de palma de aceite. Revista palmas 30(4):53-64. 2009.
6. FRONCZAK, F.J. Product design ME-549 lecture notes. Wisconsin : University of Wisconsin, 1999.
7. GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá : Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1991. 131 p.
8. LLOYD, A.H. Extracción de maderas por medio de grúas de cable aéreo. [En línea]. Roma : FAO, [s.f.]. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/x5369S/x5369s06.htm>. Consultado el 29 de Febrero de 2012.
9. LÓPEZA., A. Evaluación de tres sistemas de transporte interno de fruta en palmas Montecarmelo S.A. Valledupar : Universidad Nacional de Colombia. Escuela de postgrados, 2009. 48 p. Tesis: Especialista en cultivos perennes industriales.
10. PARRA R., H.; ÁLVAREZ M., F.; ROA M., G. Transporte de café cereza por cable aéreo de gravedad. Revista facultad nacional de agronomía Medellín 42(2):31-57. 1989.
11. PATIÑO T., A. Evaluación de cafeductos: Informe final. Chinchiná : Comité departamental de cafeteros de Antioquia : CENICAFÉ, 1990. 64 p.
12. PATIÑO V., F. Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. Cali : Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, 1992. 326 p. Tesis: Ingeniero mecánico.
13. PATIÑO V., F.; GÓMEZ P., A.L.; ÁLVAREZ M., F. Diseño y construcción de un transportador mecánico de café cereza por cable aéreo. Revista facultad nacional de agronomía Medellín. 47(1/2):73-88. 1994.
14. PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. Chinchiná : CENICAFÉ, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349).
15. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera. Cenicafé 56(4):381-397. 2005.
16. SALAMANCA J., A.; AMÉZQUITA C., E. Densidad aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del cafeto. Cenicafé 55(4):330-340. 2004.
17. SANZ U., J.R. Mobile device for mechanical harvesting of coffee in steep terrain. Saarbrücken [Alemania] : VDM Verlag, 2008. 152 p.
18. SIMALENGA, T.E.; BELETE, A.; MZELENI, N.A.; JONGISA, L.L. Profitability of using animal traction under smallholder farming conditions in eastern Cape, south Africa. Mpumalanga [South Africa] : ATNESA, 1999. 344 p.
19. ULLMAN, D.G. The mechanical design process. 3a. ed. Nueva York : McGraw Hill, 1997. 400 p.
20. VÉLEZ Z., J.C.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Estudio de tiempos y movimientos para el mejoramiento de la cosecha manual del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 91 p. (Boletín Técnico No. 21).

VENTAJAS SOCIALES Y AMBIENTALES DE LA ADOPCIÓN DE LA NORMA DE AGRICULTURA SOSTENIBLE EN DOS REGIONES CAFETERAS DE COLOMBIA¹

Jhon Félix Trejos Pinzón*; César Alberto Serna Giraldo**; Gabriel Cruz Cerón***; Paola Andrea Calderón Cuartas****

RESUMEN

TREJOS P., J.F.; SERNA G., C.A.; CRUZ C., G.; CALDERÓN C., P.A. Ventajas sociales y ambientales de la adopción de la Norma de Agricultura Sostenible en dos regiones cafeteras de Colombia. *Revista Cenicafé* 62 (2): 111-131. 2011

En dos regiones cafeteras de Colombia se identificaron las ventajas socioeconómicas y ambientales de la adopción de la Norma para la Agricultura Sostenible (NAS) de *Rainforest Alliance* (RA), así como algunos factores que pueden restringir la obtención de la certificación y el mantenimiento de la misma. El procedimiento metodológico, basado en alianzas estratégicas con el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros, permitió la obtención de la información mediante la aplicación de encuestas a caficultores en fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC), y sus respectivos análisis estadísticos que incluyeron intervalos de confianza, medidas de tendencia central y pruebas de Chi cuadrado, obteniéndose un diagnóstico desde las dimensiones social, ambiental, económica, y análisis del componente tecnológico. Los resultados indicaron que la adopción de la NAS refleja ventajas comparativas en el sistema de gestión social y ambiental de las fincas CE, relacionadas con el uso de equipos de protección para la aplicación de agroquímicos, mayor participación de los caficultores en capacitaciones, restricción del trabajo de menores de edad, tratamiento de aguas residuales, almacenamiento de productos químicos y manejo integrado de desechos.

Palabras clave: Santander, Cundinamarca, dimensiones social, ambiental, económica.

ABSTRACT

In two coffee regions of Colombia, the socioeconomic and environmental benefits of the adoption of the Sustainable Agriculture Standard (NAS) *Rainforest Alliance* (RA) as well as some factors that may restrict obtaining certification and maintenance were identified. The methodological procedure, based on strategic alliances with the Extension Service of the National Federation of Coffee Growers, allowed information to be obtained via surveying farmers in certified farms (CE) and uncertified farms (NC), and their statistical analyses involving confidence intervals, measurements of central tendency and chi-square tests. Thus, a diagnosis from the social, environmental, and economic dimensions as well as technological component analyses was obtained. The results indicated that the adoption of the NAS reflects comparative advantages in the system of social and environmental management of EC farms related to the use of protection equipment for pesticide application, greater involvement of farmers in training, restriction of minors work, wastewater treatment, chemical products storage, and integrated waste management.

Keywords: Santander, Cundinamarca, social, environmental and economic dimensions.

¹ Resultado del estudio "Identificación de las ventajas y desventajas económicas y sociales de la adopción de la norma para la agricultura sostenible de *Rainforest Alliance* en dos regiones cafeteras de Colombia" en el marco del convenio: Cenicafé - Rainforest Alliance.

* Asistente de Investigación. Disciplina de Experimentación. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé.

** Investigador Científico I. Disciplina de Economía. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

*** Ingeniero Agrónomo Ph.D. Profesor Titular, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

**** Administradora Ambiental, MSc. Docente Investigadora, Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia

Entre los principales desafíos que enfrenta el sector rural en países Latinoamericanos, están el superar la pobreza y alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuaria, lo que implica conciliar criterios de equidad, productividad y competitividad para el manejo sostenible de los recursos naturales. Para afrontar este reto, en las últimas décadas han surgido iniciativas que orientan sus esfuerzos principalmente hacia la disminución de la pobreza, el bienestar de los trabajadores, la conservación de agroecosistemas y la adopción de buenas prácticas agrícolas. Entre los organismos interesados en este enfoque está la Red de Agricultura Sostenible (RAS), que ha estructurado una norma basada en diez principios, cuyo objetivo es mitigar los riesgos ambientales y sociales causados por las actividades agrícolas mediante un proceso de mejoramiento continuo del sistema de producción, el cual se evalúa a través del cumplimiento de los criterios críticos requeridos para que una finca se certifique y mantenga su certificación.

La evaluación del efecto de las certificaciones ambientales en sistemas de producción como el café, es un tema que despierta gran interés desde los puntos de vista científico y práctico, además de su potencial como herramienta de conservación en los paisajes rurales productivos (2). Así mismo, existe urgencia en evaluar otros aspectos ambientales, sociales y económicos (17), constituyéndose como prioridad evaluar si los costos atribuibles a la certificación y la reducción en producción, que ocurre en algunos casos, son compensados por los sobrepuestos recibidos y las mejoras en el mercadeo de los productos certificados (20). Aunque esta evaluación es aún incipiente, los primeros estudios realizados en diferentes países productores de café comienzan a corroborar ventajas en los efectos ambientales de esas

certificaciones, y evidencian la necesidad de adelantar otras evaluaciones (17, 20).

La contribución de las diferentes certificaciones a la sostenibilidad ambiental y social es diversa y depende del enfoque que tenga cada una de ellas y de los criterios utilizados (17, 22); para ello, la Red de Agricultura Sostenible (RAS) es la más grande y antigua coalición de ONG que trabaja para mejorar las condiciones de producción agrícola en los trópicos, a través del desarrollo de requisitos para el manejo responsable. Las fincas que cumplen con los requisitos y normas vinculantes son reconocidas con el sello *Rainforest Alliance Certified*. En Colombia, las cifras presentadas por la Federación Nacional de Cafeteros-FNC (11) sobre cafés especiales indican que: el Fondo Nacional del Café (FoNC) pagó un 7% más que el precio base, el 18% del área cultivada de café en Colombia produce cafés sostenibles, el 52% de las exportaciones del FoNC corresponde a cafés especiales, procesados e industrializados, el 20% de los caficultores hacen parte de los programas de cafés sostenibles de la FNC, y 42 mil fincas del país producen más de 490 mil sacos de café, en cerca de 135 mil hectáreas certificadas. Para los departamentos donde se realizó el estudio, las cifras del año 2009 (12, 13) reportan que el departamento de Cundinamarca tenía 203 fincas certificadas-CE, con una participación potencial en ventas de café pergamino seco de 670.500 kg, producidas en 624 ha; y en el departamento de Santander existían alrededor de 1.300 fincas CE, que corresponden a 5.200 ha, con una participación en ventas de 76 mil sacos, de 60 kg.

Evaluar el aporte de las certificaciones ambientales del cultivo de café a las condiciones socioeconómicas de las familias cafeteras sirve a los organismos certificadores para justificar

y mantener la existencia de sus sellos, y para ajustar los criterios exigidos para la adopción de los mismos. Igualmente, este tipo de estudios permite a las organizaciones no gubernamentales y entidades ambientales, enriquecer los procesos de planeación regional y nacional de la sostenibilidad en zonas agrícolas. Los sistemas de producción agrícola certificados ambientalmente tienen gran potencial para promover el ecoturismo, la responsabilidad social y la diversificación de ingresos, además se constituyen en herramientas de conservación del paisaje, favoreciendo las zonas de amortiguación de reservas naturales y la construcción de corredores biológicos. Contar con información documentada sobre los beneficios y limitantes de las certificaciones, le permite al caficultor tomar decisiones desde los puntos de vista productivo, financiero, ambiental y social.

Para determinar los beneficios socioeconómicos y ambientales de la adopción de la Norma para la Agricultura Sostenible (NAS) de *Rainforest Alliance*, e identificar algunos factores que restringen la certificación, se llevó a cabo un estudio específico exploratorio en fincas certificadas-CE y no certificadas-NC de dos regiones cafeteras de Colombia, a partir de un análisis con enfoque de sostenibilidad desde las dimensiones social, económica y ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y condiciones climáticas. La investigación se desarrolló en los departamentos de Cundinamarca y Santander en fincas certificadas RA y no certificadas. En la Tabla 1 se describen las condiciones climáticas anuales de las cabeceras municipales de la región en estudio. La característica climática que diferencia las zonas de estudio es la

distribución de la lluvia, así: En Cundinamarca el período seco se concentra entre junio y septiembre, mientras que en Santander éste ocurre entre diciembre y marzo.

El marco de muestreo estuvo determinado por aquellas fincas que han adoptado la NAS para la certificación RA por tres o más años, debidamente registradas en el Sistema de Información Cafetera (SIC@ web), de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia; localizadas en los municipios y que cubrieran como mínimo el 80% de las fincas CE, según la prueba de Pareto (4). A partir de cada finca CE identificada se eligió una finca NC, preservando una condición de bloque o apareamiento entre fincas CE y NC, según características de relativa homogeneidad entre pares de fincas y lograr así comparar entre los dos sistemas productivos.

El método para determinar el tamaño de muestra de fincas CE por departamento fue aleatorio estratificado, calculando tanto para Cundinamarca como para Santander un tamaño de muestra de 36 fincas CE. Para Cundinamarca, con un error de muestreo de 5,2 arrobas de café pergamino seco (@ c.p.s.)², estimado a partir de una varianza considerada desde el rango de producción entre 35 y 180 @.ha-año⁻¹ de c.p.s., con un tamaño de la población de 56 fincas. A pesar de contar con una población mayor que la de Cundinamarca, en Santander se tomaron 36 fincas CE, con un error de muestreo de 16,26 @ de c.p.s., con una varianza estimada a partir del rango de producción entre 40 y 272 @.ha-año⁻¹ de c.p.s. Como resultado se obtuvo un tamaño total de muestra de 144 fincas cafeteras, distribuidas en cinco municipios de Cundinamarca y en siete municipios de Santander (72 fincas por departamento: 36 CE y 36 NC).

² @. Arroba. Equivale a 12,5 kilogramos de café pergamino seco.

Tabla 1. Localización y condiciones climáticas anuales de las cabeceras municipales de la región en estudio (15).

Departamento/ Municipio	Altitud (m)	Latitud Norte	Longitud Oeste	Tem. °C	Brillo solar (h.año ⁻¹)	Lluvia (mm)	Meses secos
Cundinamarca							
La Palma	1.462	05° 22	74° 24	20,5	1.800	1.418	En-Fb, Jl-Ag
Vergara	1.510	05° 07	74° 21	20,2	1.600	2.221	Jn a Sp
Guaduas	992	05° 04	74° 36	23,5	2.000	1.510	Jn a Sp
Supatá	1.798	05° 04	74° 14	18,4	1.700	1.581	Jn a Sp
San Francisco	1.520	04° 59	74° 18	20,2	1.400	1.493	Jn a Sp
Santander							
Socorro	1.320	06° 87	73° 16	22,0	2.200	1.720	En-Fb, Jn-Ag
Aratoca	1.805	06° 42	73° 01	18,4	2.200	1.870	Dc-Fb,Jn a Sp
Pinchote	1.133	06° 32	73° 11	22,6	2.400	1.130	Dc a Mz
Valle de San José	1.250	06° 27	73° 09	21,9	2.400	1.720	Dc a Mz
Vélez	2.133	06° 17	73° 40	16,4	2.100	1.400	Dc a Fb
Barbosa	1.588	05° 67	73° 37	19,7	1.800	1.860	Dc a Fb
Guavatá	2.000	05° 58	73° 42	17,2	1.600	1.960	Dc a Fb

VARIABLES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS. A los propietarios o administradores de las fincas seleccionadas se les aplicó una encuesta, a partir de ésta se consolidó una base de datos que incluyó las variables y características que determinan el cumplimiento de algunos criterios críticos de la NAS, como el tratamiento de aguas residuales, uso de equipo de protección para la aplicación de plaguicidas, almacenamiento de productos, uso de agroquímicos, mezcla de productos, disposición final de residuos sólidos, cacería de animales silvestres, tala de árboles, quema de residuos, contratación de menores de edad, salario y horas laboradas. Para estas variables se estimaron intervalos de confianza con un margen de confianza del 95%. Así mismo, se clasificaron las variables por dimensiones social, ambiental y económica, aplicando medidas de tendencia central y pruebas de independencia Chi cuadrado, mediante el programa SAS (*Statistical Analysis System*), a fin de determinar diferencias estadísticas significativas entre fincas CE y NC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VARIABLES SOCIALES

Índice de masculinidad. Entendido éste como el indicador de distribuciones por género, se expresa como la razón hombre/mujer en una población. Entre los productores certificados de Cundinamarca el índice de masculinidad está en relación 5:1 y en no certificados 6:1. En Santander, en certificados y no certificados, esta relación corresponde a 3:1. El porcentaje de mujeres en la producción agrícola y las actividades posteriores a las cosechas oscila entre el 20% y el 70%; su participación está aumentando en muchos países en desarrollo, en particular en la agricultura orientada a la exportación, que implica una creciente demanda de mano de obra femenina en los procesos de toma de decisiones y administración en la finca (1). Según el Observatorio de Asuntos de Género (18), la representatividad de la mujer cafetera permite ser fuente dinamizadora del relevo generacional, es el centro del

hogar, fortalece el arraigo de sus hijos e hijas a la tierra y concentra mano de obra, al mejorar las condiciones de trabajo de la población recolectora en época de cosecha. De igual modo, participa en los procesos para la certificación, en aras de garantizar la calidad del café y un mayor ingreso a la familia cafetera.

Edad. Una de las características que suele ser analizada en estudios de adopción de programas o tecnologías es la edad; es posible que los agricultores de mayor edad tengan más experiencia, recursos o autoridad, que les dan más posibilidad de ensayar una tecnología nueva. Sin embargo la experiencia en una zona agrícola particular o con un determinado cultivo, tal vez no se relacione estrictamente con la edad y puede valer la pena indagar específicamente acerca de la experiencia. Por otra parte, sea quizá probable que los agricultores jóvenes adopten una tecnología nueva porque han tenido mayores estudios que la generación de mayor edad o tal vez hayan tenido contacto con ideas nuevas (5). La edad promedio de los caficultores CE es de 46,7 y 50,1 años para Cundinamarca y Santander, respectivamente, frente a los NC con 51,5 y 47,3 años para los mismos departamentos en respectivo orden.

Referenciar la edad del productor en el contexto de la caficultura colombiana sirve para determinar la importancia del relevo generacional, al confirmar una edad avanzada en la mayoría de los caficultores bien sea CE o NC. Igual panorama se presenta en la caficultura nacional, con un promedio 54 años (10).

Tenencia de la tierra. Mayoritariamente los caficultores de las dos regiones son propietarios; en Cundinamarca el 91,7% de CE y el 88,9% de NC; en Santander 100% de los CE y 89% de NC. Existe un 2,8% y 5,5% de las fincas NC de Cundinamarca y Santander, respectivamente, bajo la modalidad arrendamiento, esta condición podría desestimular al productor para llevar a cabo una adopción de prácticas de conservación en la finca o tecnologías que contengan programas de inversión (8). El porcentaje restante de las fincas CE y NC en Cundinamarca (5,5%) y de las NC en Santander (8,3%) se distribuye en la modalidad de otro tipo de tenencia o posesión.

Nivel educativo de los productores. En la Tabla 2 se describe la distribución porcentual del nivel de estudio de los caficultores CE y NC de cada una de las regiones evaluadas. Se destaca el porcentaje de caficultores certificados

Tabla 2. Escolaridad de productores certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander.

Escolaridad	Distribución porcentual			
	Cundinamarca CE	Cundinamarca NC	Santander CE	Santander NC
Ningún estudio	-	8 %	3 %	3 %
Primaria incompleta	44 %	45 %	39 %	44 %
Primaria completa	31 %	36 %	28 %	25 %
Bachillerato incompleto	11 %	8 %	8 %	14 %
Bachillerato completo	8 %	3 %	8 %	8 %
Tecnólogo	3 %	-	3 %	-
Universitario	3 %	-	11 %	6 %

con nivel de estudio tecnológico y universitario, y que la mayoría de productores tiene algún nivel de escolaridad. Es factible que la implementación de programas de conservación esté ligado con niveles educativos superiores, sin embargo, estudios han demostrado que la adopción de tecnologías o prácticas de manejo en las fincas no está siempre relacionado con este factor (5). Si el propósito es medir el grado de adopción de un sistema de administración contable y financiero, sería indispensable que los productores contaran con un mínimo nivel escolar, por lo tanto, medir el grado de aplicación de prácticas de conservación del medio ambiente no depende del grado de escolaridad del productor y se considera como una relación natural de conciencia entre el hombre y la naturaleza.

Uso del equipo de protección en la aplicación de agroquímicos.

A los trabajadores que manipulan o aplican plaguicidas, se les deben garantizar las condiciones de protección establecidas por las normas legales, como son el gorro, la careta, el overol, los guantes de nitrilo y las botas de caucho, que forman parte de la indumentaria del equipo de protección. La falta de cualquiera de estos elementos es considerada causal de no conformidad de la norma de agricultura sostenible de RA (21). Para su análisis esta variable se dividió en cuatro categorías, según su uso: completo, incompleto, no usan y no utiliza plaguicidas. Tal distribución indicó que el 30,6% y 52,8% de las fincas CE que aplican plaguicidas usan el equipo completo, en los departamentos de Santander y Cundinamarca, respectivamente; frente al 8,3% de las fincas NC en ambos departamentos. En las fincas NC el 30,6% y 33,3% no usan algún elemento de protección a pesar de usar plaguicidas en los citados departamentos, respectivamente. Cabe anotar que el 26% de las fincas en Cundinamarca y Santander reportan que no aplican agroquímicos. Estudios realizados en

Brasil indican que el 10% de las fincas NC usaban equipos de protección completos a la hora de aplicar plaguicidas, frente a un 62% de los certificados (14). En la Figura 1, se presenta el intervalo de confianza para la proporción de fincas que cumplen con el criterio de la NAS.

Participación en capacitaciones. Se clasificó en dos modalidades, para los productores que recibieron y los que no recibieron formación en temas ambientales y de salud. La evaluación de tales aspectos permitió comprobar la capacitación brindada a los productores (Tabla 3). Es notoria la diferencia en el porcentaje de productores CE que recibieron capacitación en temas como primeros auxilios y manejo y uso seguro de plaguicidas, con respecto a los NC.

En los resultados de la relación porcentual de otras capacitaciones recibidas por los productores de fincas CE y NC se destaca la capacitación de manejo del cultivo del café para ambos departamentos, independiente de la condición de certificación.

Gran parte de los problemas de los agricultores pueden ser resueltos por ellos mismos, con la condición de recibir una capacitación técnico-empresarial, orientada a producir resultados económicos, y no sólo se limiten a desarrollar actividades cotidianas; se trata de una capacitación más comprometida en solucionar los problemas que en problematizar las soluciones. El desarrollo rural depende mucho más de la adecuada capacitación de los agricultores que de la abundancia de sus recursos; mucho más de insumos intelectuales que de insumos materiales; mucho más del “cómo hacer” que del “con qué hacer” (16). Aunque varios de estos planteamientos se aparten de los temas consultados; si es consecuente mencionar la importancia de la capacitación a los productores rurales.

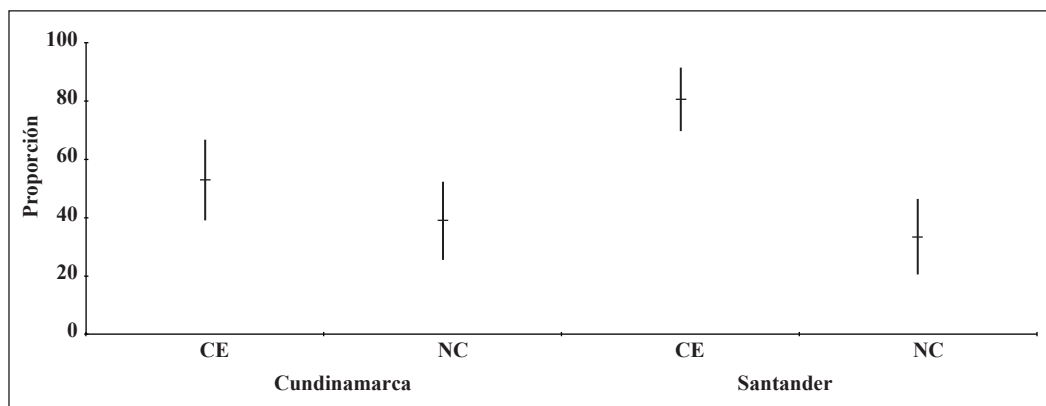


Figura 1. Intervalo de confianza para la variable uso de equipo de protección en fincas CE y NC, en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Tabla 3. Capacitación a los productores de las fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC) en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Tema	Cundinamarca (%)		Santander (%)	
	CE	NC	CE	NC
Manejo y reciclaje de basuras	31 %	3 %	93 %	24 %
Primeros auxilios	59 %	7 %	93 %	24 %
Manejo y uso seguro de plaguicidas	69 %	14 %	93 %	14 %
Capacitación en otros temas	79 %	59 %	97 %	59 %

Material de construcción de la vivienda.

La casa de habitación se entiende como un bien complejo que satisface necesidades y, por lo tanto, debe tener un conjunto de atributos que varían de acuerdo con el contexto histórico y cultural (7). De acuerdo con los lineamientos dados por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (19), se definieron las siguientes categorías para la construcción de techos, paredes y pisos:

- Categoría I, viviendas construidas en materiales resistentes; se refiere a techo de teja ondulada de fibrocemento o barro, paredes de ladrillo, adobe revocado o cemento y pisos de madera pulida o baldosa.

- Categoría II, en materiales de resistencia y calidad media, tales como techo en láminas de cinc y madera, paredes de adobe sin revocar y piso de madera sin pulir o cemento.
- Categoría III, los materiales que constituyen la vivienda son precarios o de desecho, de baja calidad y poca resistencia; dentro de este grupo se encuentran los techos de madera sin tratar o de guadua, paredes de bahareque, madera sin revestir y pisos de tierra.

En Cundinamarca respecto al techo de las viviendas con tejas de cinc, se registraron 77,8% de las fincas CE y el 83,3% de las NC; mientras que en

Santander predominaron las viviendas con tejas de barro, con el 55,6% en fincas CE y NC (Tabla 4). En las dos regiones las tejas de fibrocemento ocupan el segundo lugar, para ambos tipos de fincas. En Cundinamarca predomina el bloque para las paredes de las viviendas con el 66,7% y 44,4% en fincas CE y NC, mientras que en Santander el material es el ladrillo, con el 52,2% y 66,7% de las fincas CE y NC. En relación con el piso, el cemento es el material más utilizado (Tabla 4).

Actividades realizadas por los menores de edad. El trabajo infantil en el sector rural es uno de los temas que más inquieta a la sociedad, en cuanto que actúa en detrimento de uno de los grupos más vulnerables de la población; sin embargo, desde hace un

tiempo se viene replanteando este concepto y se establece que existe una diferencia notable entre la explotación y el trabajo infantil (6). Al respecto, en Colombia se han diseñado políticas estatales que garantizan y acercan a la población infantil a estudios de nivel preescolar, básica primaria, bachillerato y, en algunos casos, niveles técnicos y tecnológicos. Tanto en fincas CE como NC se reporta mayoritariamente que los menores de edad no desempeñan ninguna labor en la finca. Sólo el 13,9% y 8,3% de las fincas de Cundinamarca y Santander, respectivamente, expresaron que los menores realizaban actividades de recolección de café, sin embargo, esta actividad no interfiere el normal desarrollo académico de los menores en el año y la ejecutan los hijos de los propietarios de

Tabla 4. Distribución porcentual de los materiales de construcción de la vivienda en las fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC) en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Material de construcción	Cundinamarca		Santander	
	CE	NC	CE	NC
Techo				
Fibrocemento	22,2 %	13,9 %	30,6 %	38,9 %
Fibrocemento y teja de barro	-		8,3 %	2,8 %
Fibrocemento - cinc	-	2,8 %	2,8 %	-
Teja de barro	-		55,6 %	55,6 %
Cinc	77,8 %	83,3 %	-	-
Cinc - Teja de barro	-	-	2,8 %	2,8 %
Pared				
Bloque cemento	66,7 %	44,4 %	38,9 %	19,4 %
Bahareque	5,6 %	11,1 %	2,8 %	5,6 %
Ladrillo	25,0 %	38,9 %	52,8 %	66,7 %
Madera	2,8 %	5,6 %	-	2,8 %
Tapia pisada	-	-	5,6 %	5,6 %
Piso				
Baldosa	25,0 %	16,7 %	16,7 %	11,1 %
Baldosa - cemento	-	-	11,1 %	5,6 %
Cemento	72,2 %	72,2 %	72,2 %	83,3 %
Madera	-	2,8 %	-	-
Tierra	2,8 %	8,3 %	-	-

la finca. Estudios han demostrado que los hogares con bajos ingresos o condiciones de pobreza extrema tienen más riesgos de involucrar a la población infantil al mercado laboral (3); bajo este contexto se ha demostrado que el nivel de vida de las comunidades cafeteras del país ha aumentado en los últimos años debido entre otros factores a la adopción de nuevas tecnologías, aumentos en la producción de café y del precio internacional del mismo, además de la generación de valor agregado.

Variables ambientales

Uso de fertilizantes, productos fitosanitarios y biológicos. La fertilización química es uno de los factores determinantes en la productividad de café, sin embargo como todo producto de síntesis química debe ser usado en las cantidades adecuadas, y las aplicaciones se deben realizar en las épocas recomendadas (24). Para esta evaluación se midió la cantidad de fertilizante usado durante el año 2008; se identificó que la media de aplicación de fertilizantes en fincas CE frente a fincas NC es mayor en los dos departamentos. Además, se determinó que en el 15% de las fincas no fertilizaron (Tabla 5).

Según resultados detallados en la Tabla 6, el 41% de las fincas CE de Cundinamarca

aplicaron productos químicos para el control de plagas, enfermedades y arvenses, con aplicaciones promedio de 2,0 kg. Para Santander los resultados muestran que los caficultores NC no aplicaron este tipo de productos.

Generalmente, los productos fitosanitarios se ofrecen en los mercados en presentación de kilogramos (kg) o litros (L), siendo esta última la más usada por los caficultores. Esta diferencia se traduce en la cantidad aplicada en el año y el número de fincas evaluadas que los aplican. Los resultados demuestran una notoria diferencia en fincas NC de Santander que presentan una media de aplicación de 6,9 L.año⁻¹, seguida por fincas CE del mismo departamento con 5,2 L.año⁻¹ (Tabla 7).

El uso de productos biológicos como el hongo *Beauveria bassiana*, se ha venido fomentado gracias a los efectos positivos que éstos traen para el ambiente y al control de plagas como la broca. Las fincas NC de Santander aplicaron la mayor cantidad de productos biológicos frente a las demás fincas y a la otra región, aplicando en promedio en el año 2008, una media de 13,8 kg por finca (Tabla 8). Cabe mencionar que esta clase de productos sólo se aplicaron en el 11% de las 144 fincas encuestadas.

Tabla 5. Cantidad de fertilizante químico aplicado (kilogramos) por fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC), en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Medida de tendencia	Cundinamarca		Santander	
	CE	NC	CE	NC
Frecuencia (No. fincas)	32	27	34	30
Mínimo	100	50	50	50
Máximo	4.350	2.500	10.000	4.957
Media	1.045	644	1.812	1.084
Mediana	750	350	1.235	550
Moda	500	150	100	250

Tabla 6. Cantidad de productos fitosanitarios aplicados en kilogramos por fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC), en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Medida de tendencia	Cundinamarca		Santander	
	CE	NC	CE	NC
Frecuencia (No. fincas)	15	7	1	-
Mínimo	0,5	1,0	0,6	-
Máximo	6,0	24,0	0,6	-
Media	2,0	5,1	0,6	-
Mediana	1,0	1,0	0,6	-
Moda	1,0	1,0	0,6	-

Tabla 7. Cantidad de productos fitosanitarios aplicados en litros, en fincas certificadas (CE) y no certificadas (NC), en los departamentos de Cundinamarca y Santander.

Medida de tendencia	Cundinamarca		Santander	
	CE	NC	CE	NC
Frecuencia (No. fincas)	21	20	18	24
Mínimo	1,0	0,3	0,1	0,1
Máximo	51,0	11,0	50,0	70,0
Media	4,6	2,8	5,2	6,9
Mediana	2,0	1,0	1,8	2,0
Moda	1,0	1,0	2,0	1,0

Interacciones significativas de las variables de la dimensión ambiental con la certificación

Tratamiento de aguas residuales. El 58% de las fincas CE de Cundinamarca cuentan con tanque séptico, mientras que sólo el 14% de las fincas NC cuentan con este tipo de tratamiento, siendo más frecuente encontrar en estas fincas pozos en tierra y vertimiento directo en fuentes de agua. En fincas CE de Santander el tratamiento más común es el tanque séptico en 53% de los predios, seguido de un tratamiento mixto, constituido por la combinación de pozo en tierra y tanque séptico (Figura 2). La totalidad de las fincas CE reportan algún tipo de tratamiento de aguas, mientras que el 19% y el 44% de fincas NC de Cundinamarca y Santander, respectivamente, expresan no aplicar ningún tipo de tratamiento.

Cenicafé ha diseñado tecnologías que buscan disminuir el impacto ambiental que generan los residuos producidos por el café, como el caso del beneficio ecológico (Becolsub) (23). La adopción de esta tecnología depende de factores económicos, culturales y del volumen de producción anual de café en la finca. La Figura 3, indica que el 64% y 33% de las fincas cafeteras CE de Santander y Cundinamarca poseen beneficio ecológico, frente el 31% y 14% de las fincas NC, respectivamente; esto determina una reducción importante de la contaminación ambiental causada por los procesos tradicionales de lavado a nivel de fincas. Para el beneficio tradicional, se reportan porcentajes superiores de este sistema en fincas NC, en ambos departamentos, inclusive en las fincas CE de Cundinamarca (Figura 3).

Tabla 8. Cantidad de productos biológicos aplicados en kilogramos.

Medida de tendencia	Cundinamarca		Santander	
	CE	NC	CE	NC
Frecuencia (No. fincas)	2	1	7	6
Mínimo	1,0	0,6	1,0	1,0
Máximo	1,0	0,6	5,0	75,0
Media	1,0	0,6	1,7	13,8
Mediana	1,0	0,6	1,0	1,5
Moda	1,0	0,6	1,0	1,0

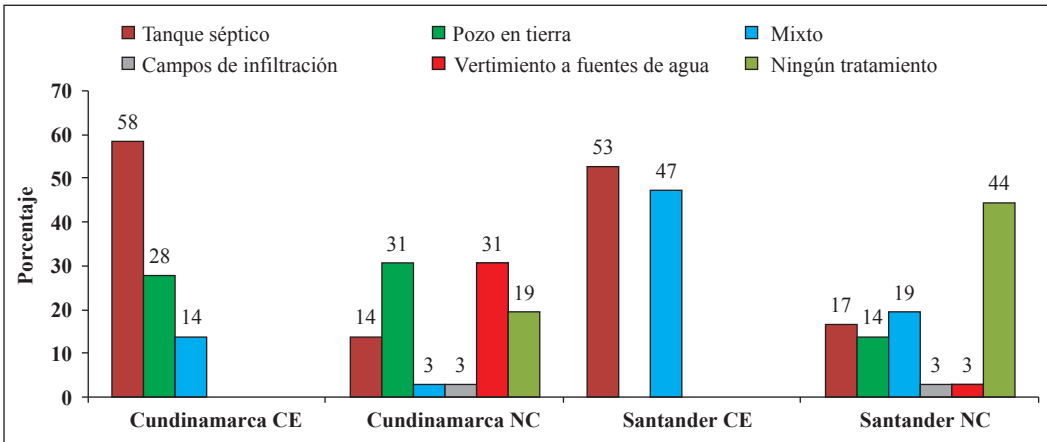


Figura 2. Relación del tratamiento de aguas residuales con la condición de certificación de acuerdo con su formato de producción.

Almacenamiento de productos. En lo que se refiere a bodega especializada, el 36% de las fincas CE cuentan con este tipo de almacenamiento, en contraste con el 8% de las fincas NC. Tanto en fincas CE como NC predominan las bodegas múltiples con 42% para Cundinamarca y 44% para Santander. En Santander se registra la mayor participación de bodegas múltiples en el 67% de las fincas CE, frente al 50% de las fincas NC; en este departamento sólo el 19% de las fincas CE cuenta con bodega especializada y ninguno de los predios NC cuenta con este tipo de almacenamiento (Figura 4).

Manejo de desechos. En fincas CE de Cundinamarca predomina el traslado de los desechos a la zona urbana y la recolección de éstos por parte de la empresa de aseo, con valores del 39% y 33%, respectivamente; en el 44% de las fincas NC se queman y se entierran los desechos y sólo el 17% es recolectado por la empresa de aseo. En Santander, sobresale la recolección por parte de la empresa de aseo, en 61% de los predios CE, frente al 31% de los predios NC, mientras que en fincas NC es frecuente quemar los desechos, quemarlos y enterrarlos, o trasladarlos a la zona urbana (Figura 5). El reciclaje se practica en el 17% de las

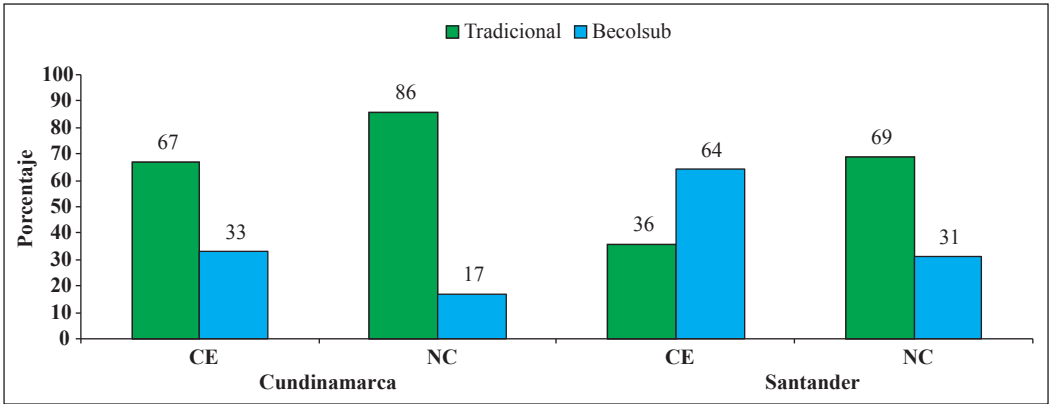


Figura 3. Distribución porcentual del uso de los tipos de beneficio de café.

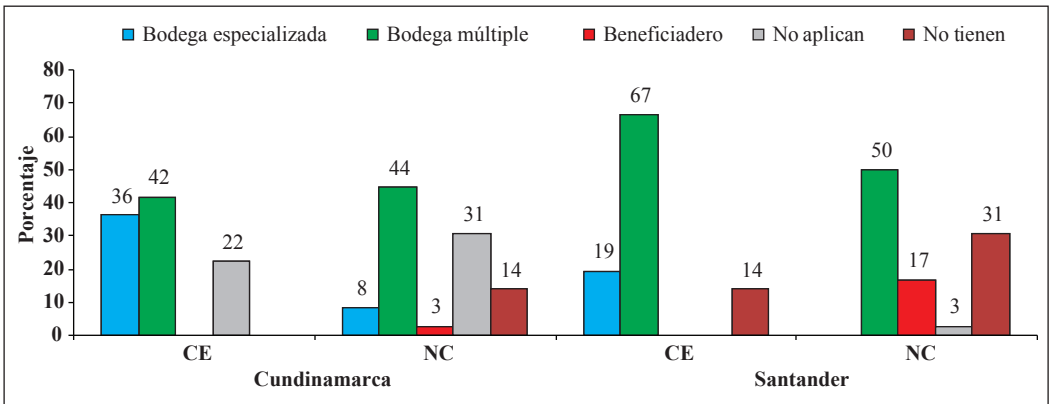


Figura 4. Tipo de almacenamiento de productos con la condición de certificación, en fincas de Cundinamarca y Santander.

fincas CE frente al 6% de las fincas NC en Cundinamarca, con frecuencias similares, conservando la misma brecha entre fincas CE y NC en Santander.

Entre algunas de las prácticas que desarrollan los caficultores en sus fincas, está la quema de desechos sólidos de los diferentes procesos agrícolas y pecuarios. En Cundinamarca, el 93% de las fincas CE no realizan algún tipo de quema, y el 7% restante, quema los desechos o basuras, y en casos particulares, los residuos del café (follaje y madera). En

las fincas NC, el 59% queman plásticos, papeles y residuos de la renovación de café, el 41% restante no quema, sino que los recolecta. Para el caso de Santander, el 97% de las fincas CE no hacen quemadas. En fincas NC el 52% queman sus basuras plásticas y cartón, además de los residuos de café la renovación del café.

Intervalos de confianza para algunas variables ambientales. La única variable con diferencia estadística significativa a nivel de los promedios de fincas CE y NC

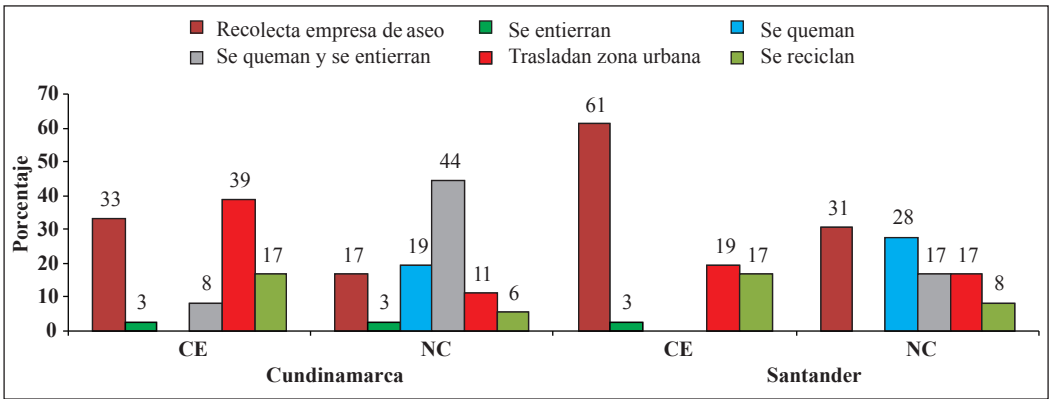


Figura 5. Relación del manejo de desechos con la condición de certificación

correspondieron a: poseen tratamiento de aguas residuales, almacenamiento adecuado de productos químicos, correcta disposición final de residuos sólidos y no efectúan quema de residuos, resaltando el mejor comportamiento frente a este manejo de fincas certificadas de ambos departamentos, al considerar la mayor proporción de fincas que ejecutaban de la manera apropiada cada una de las actividades en las variables evaluadas (Figura 6).

Aspectos tecnológicos y económicos

Mediante la prueba de Chi cuadrado se determinó la independencia o no interacción estadística, de la condición de certificación con las siguientes variables tecnológicas: Área en café, variedad de café predominante, tipo de mano de obra, densidad de siembra, diversificación de cultivos, considerando las dos primeras características de especial importancia para los resultados del estudio, a continuación se presentan los resultados obtenidos para las fincas de ambos departamentos.

Área en café. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (9), la caficultura del país se distribuye de acuerdo con el tamaño del cafetal de la siguiente manera: pequeños caficultores con áreas menores

a 5 hectáreas (ha) en café, representan el 96% del total; medianos caficultores entre 5,1 y 10 ha, éstos ocupan el 3%; y grandes caficultores con más de 10,1 ha, distribuidos en el 1% de la zona cafetera colombiana. En la Figura 7, se presenta la clasificación de los caficultores del estudio, para Cundinamarca el 97% fueron pequeños caficultores CE, en tanto que NC fueron el 94%. Para Santander el 67% de los caficultores CE son pequeños, y el 83% de los caficultores no certificados pertenecen a caficultura a pequeña escala.

Variedad de café predominante. Reportes de la FNC (12, 13) hacen referencia al porcentaje por departamento en la siembra de variedades; en el caso de Cundinamarca que tiene un área total en café de 48.919 ha, el 36,6% es Típica, el 27,7% Caturra y el 35,7% restante es variedad Colombia. En Santander, cuya área total en café es de 42.746 ha, se distribuye así: Típica 13%, Caturra 28% y variedad Colombia 59%. El panorama encontrado en el estudio, para cada departamento y por condición de certificación se presenta en la Tabla 9.

Tipo de mano de obra. Uno de los aspectos que caracteriza los sistemas de producción es la tipología de la mano de obra, ya sea

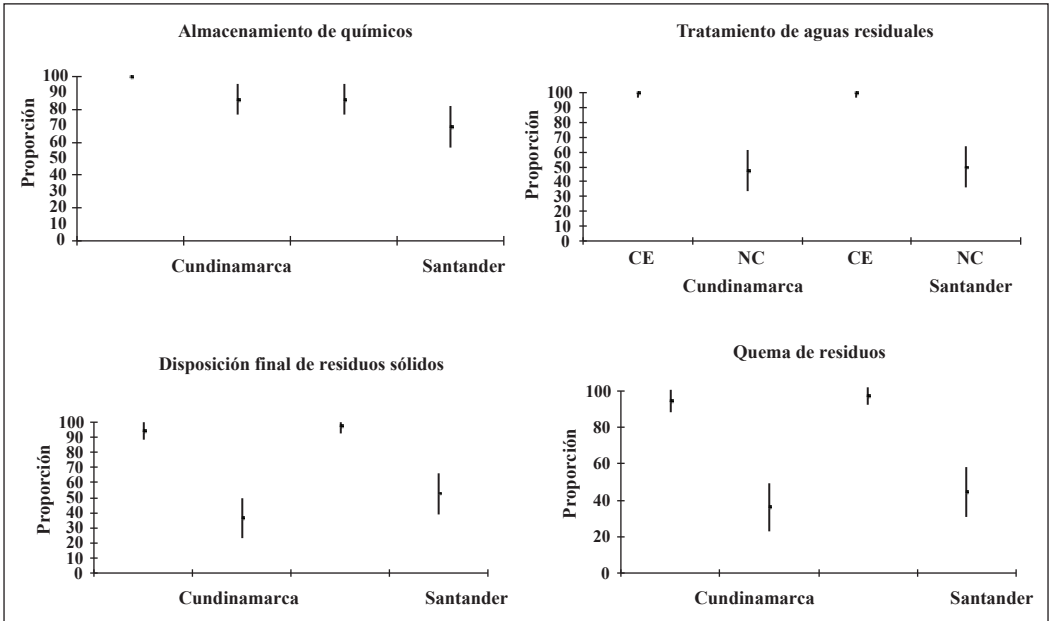


Figura 5. Intervalos de confianza para las variables tratamiento de aguas residuales, almacenamiento adecuado de químicos, disposición final de residuos sólidos y quema de residuos.

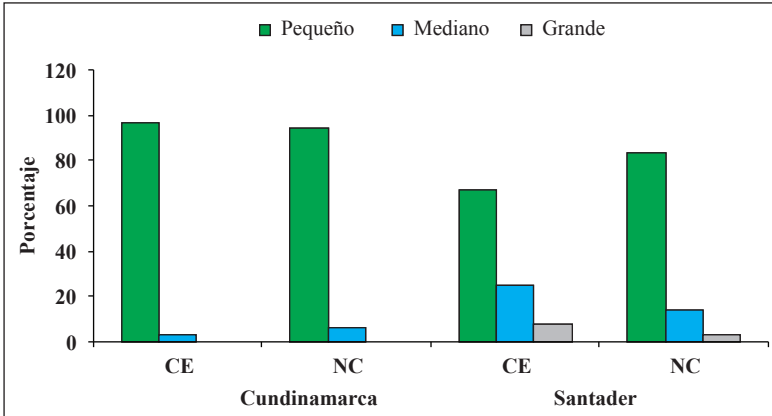


Figura 7. Distribución porcentual de la caficultura de acuerdo al tamaño de cafetal.

familiar, contratada o utilización o ambos tipos (mixta). En este caso, para las fincas CE la mano de obra contratada corresponde al 56% en Cundinamarca y 33% en Santander. En ambos departamentos y para fincas CE no hubo utilización de mano de obra familiar. El uso de mano de obra mixta en labores del

café corresponde al 44% en Cundinamarca y 67% para Santander en fincas CE (Figura 8).

Densidad de siembra. Un aspecto importante para la productividad de los cafetales es la densidad de siembra, referida al número de plantas por hectárea o unidad de terreno.

Tabla 9. Variedad de café cultivada por departamento según condición de certificación.

Variedad de café	Promedio Nacional (%)	Distribución porcentual por departamento			
		Cundinamarca		Santander	
		CE	NC	CE	NC
Colombia	30,7 %	66,7 %	55,6 %	86,1 %	77,8 %
Caturra	53,7 %	33,3 %	44,4 %	13,9 %	19,4 %
Típica	15,6 %	-	-	-	2,8 %

Fuente: Elaboración propia datos Cundinamarca y Santander; el promedio nacional tomado de Federacafé 2009.

Éste a su vez debe ser considerado como un insumo para la producción del cultivo, y puede tener efectos positivos o negativos sobre la producción de café. Para Cundinamarca, el 47% de los predios CE presentan densidades bajas (menores o iguales a 5.000 plantas/ha), mientras que en las NC representa el 61%; caso diferente ocurre en Santander, donde el 58% y el 53% de las fincas CE y NC, respectivamente, manejan densidades mayores a 5.000 e inferiores a 7.000 plantas/ha. Para ambos departamentos las densidades altas están representadas en porcentajes bajos a diferencia de Cundinamarca NC (Figura 9).

Diversificación de la producción. Un sistema de producción agropecuaria es la forma cómo el productor organiza sus recursos en función de sus objetivos y necesidades, condicionados por factores de carácter socioeconómico y ecológico. La sostenibilidad de sus medios de vida depende en gran parte de la diversificación de actividades, componentes, funciones y recursos biológicos, ya que constituyen una estrategia para la generación del ingreso familiar. La diversificación de la finca cafetera juega un papel importante en la generación de ingresos adicionales por la producción y aprovechamiento de especies vegetales o animales.

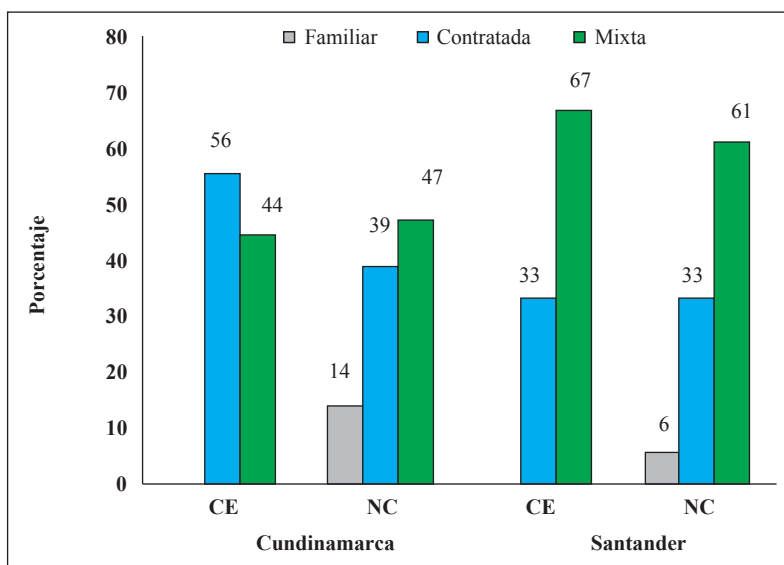


Figura 8. Mano de obra por condición de certificación en cada departamento.

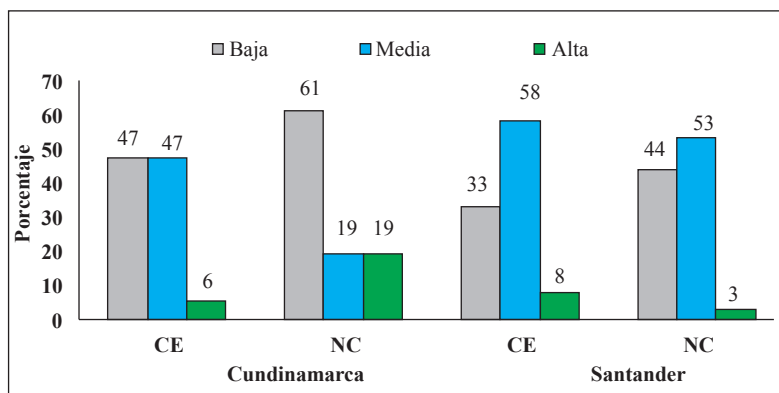


Figura 9. Distribución porcentual de las densidades de siembra por condición de certificación.

En la Tabla 10 se visualizan las diferencias existentes entre Cundinamarca y Santander en lo que se refiere a la participación relativa (%) de fincas diversificadas, con más de tres productos, incluyendo el café y fincas en las que se depende exclusivamente del café como monocultivo.

Factores de calidad del café. La característica principal del café de Colombia es sin duda alguna su calidad, lo cual se hace más evidente, si a esa calidad se le adiciona el distintivo de café especial sostenible con el sello de *Rainforest Alliance*. Se han determinado prácticas claves del cultivo, que si se hacen de forma inadecuada deterioran el producto; la recolección selectiva de frutos maduros es una de éstas.

Para lo anterior, se registró el número de granos verdes por kilogramo de café recolectado, y se encontró que en las fincas

CE de ambos departamentos, los productores y sus trabajadores recolectaron en promedio 3,5 granos verdes por kilogramo, en una muestra de 600 g de café cereza recolectada; en fincas NC el promedio ascendió a 4,6 frutos. Cabe anotar que si se tienen más de seis frutos en la muestra de 600 g de cereza recolectada se tendrán problemas de taza y sabores astringentes. Otros resultados de la evaluación de parámetros sobre la calidad del café, en los procesos de lavado, almacenamiento y transporte, se presentan en la Tabla 11.

Costos asociados a la certificación *Rainforest Alliance*. Los costos de producción se incrementan para las fincas CE, desde inversiones iniciales en adecuación de infraestructura y dotación para cumplir los requisitos de la NAS, hasta costos en jornales e insumos periódicos anuales para el mantenimiento del sello o certificación.

Tabla 10. Distribución porcentual de la diversificación de la producción en las fincas.

Tipo de producción	Cundinamarca (%)		Santander (%)	
	CE	NC	CE	NC
Diversificada	61,2 %	75,0 %	97,2 %	88,9 %
Monocultivo	38,8 %	25,0 %	2,8 %	11,1 %

El promedio de costos reportados por las fincas CE, en los cuales debieron incurrir para obtener la certificación durante el año 2006 fue cercano a los 13 millones de pesos, cifra que actualizada al año 2011 supera los 16 millones de pesos. De este valor total, un 88% corresponde a inversiones en infraestructura, como la adecuación del área de beneficio, la construcción de fosa para el manejo de residuos, la adecuación del alojamiento para trabajadores, y la construcción o adecuación de bodega para químicos. El restante 12% estuvo representado en adecuaciones menores, materiales y mano de obra destinados a la instalación de sistema séptico, construcción de pozo en tierra, instalación de trampa de grasa, botiquín de primeros auxilios, extintor de incendios, organización de la casa e instalaciones y recolección de basuras.

El promedio de los gastos de mantenimiento anuales registrados por las fincas CE durante el año 2009, fueron de \$527.571 por finca. Si se incorpora la amortización al diferir el costo de la inversión inicial a cinco años, para el caso de fincas de economía campesina y economía empresarial, que están organizadas administrativa y contablemente, y se suma la alícuota de esa inversión al gasto registrado anteriormente, este valor sería del orden de los 3 millones de pesos anuales, para el sostenimiento de la certificación por parte

del caficultor. Los principales conceptos de gasto estuvieron representados por el transporte y alimentación en reuniones grupales, capacitación y asistencia a reuniones de grupo, documentación y registro de información, papelería, recarga de extintor de incendios y dotación del botiquín de primeros auxilios.

Otros costos de la certificación. En los costos de la inversión inicial y en los gastos de sostenimiento anual no están incluidos los costos de la certificación o re-certificación, respectivamente. Esos valores pueden estar entre 3,6 y 3,8 millones de pesos por cada grupo y actualmente son asumidos por la FNC, por cada uno de los grupos certificados en ambos departamentos. Adicionalmente, el caficultor y su familia dedican tiempo para mantener la certificación.

Ese tiempo durante el año, utilizado para actividades específicas de la certificación, como: manejo de planillas y registros, reuniones grupos de amistad certificados, recolección y manejo de basuras, control interno y auditoría, tiene un costo laboral expresado en días de trabajo de los productores. Según la Figura 10, en Cundinamarca un 59% de los caficultores, le dedicaron a las actividades de certificación menos de 15 jornales, el 38% entre 15 y 30 jornales y el 3% restante, más

Tabla 11. Factores de calidad asociados con el beneficio del café.

Aspecto	Cundinamarca (%)		Santander (%)	
	CE	NC	CE	NC
No mezcla lotes de café en el proceso de fermentación	94 %	81 %	97 %	67 %
El café no está en contacto con el suelo durante el almacenamiento	94 %	64 %	100 %	64 %
El café no está en contacto con la pared durante el almacenamiento	94 %	58 %	100 %	58 %
El café no está almacenado con insumos agropecuarios	100 %	92 %	100 %	97 %
No mezcla lotes de café con otros insumos en el transporte	97 %	92 %	100 %	100 %

de 45 jornales. Para el caso de Santander la dedicación de tiempo para esta actividad difiere de Cundinamarca, allí el 24% de los caficultores dedicaron menos de 15 jornales, el 41% entre 15 y 30 jornales, el 31% entre 31 y 45 jornales, y el 4% restante más de 45 jornales al año.

Se considera que el tiempo dedicado a la certificación en términos de “días de trabajo” por parte de los caficultores en el año, le representa al productor un costo de oportunidad real. Esta valoración aproximada se somete al valor del jornal pagado, que para Cundinamarca en el 2009 fue de \$19.708 y Santander de \$19.583; estos valores no incluyen la alimentación para el trabajador. Según la Figura 11, los caficultores invierten en promedio en la certificación \$292.907 en Cundinamarca y \$467.974 en Santander. Para este punto es importante aclarar que estos valores son estimados, y en ningún momento fueron determinados por el caficultor, en atención a la dificultad que le representa conceptuar “económicamente” el costo de oportunidad, el cual representa el “sacrificio” de tiempo de trabajo dedicado a las actividades de certificación.

Ingresos. El ingreso está determinado por la producción y el precio de venta del café. En cuanto a la primera variable sobre la productividad de las fincas no podría afirmarse, con la información obtenida y durante un solo período, que haya estado influenciada positiva o negativamente por la certificación.

En relación con la segunda característica, la distribución de los diferenciales de precio es muy particular en cada caso, por lo que resulta difícil discernir sobre los beneficios económicos. En términos generales, el precio del café es una variable que no está bajo el control directo del caficultor, tan sólo en aquellos aspectos que generen alguna bonificación por factores de calidad. De tal modo, las diferencias en precios de café pergamino seco vendido a la Cooperativa y compradores particulares, muestran que no existen diferencias entre sus valores promedios.

En promedio, en las fincas CE de Cundinamarca se pagó por parte de la Cooperativa de Caficultores \$75.312 la arroba de café pergamino seco; para las fincas NC, en promedio se pagó a \$81.887. Los compradores particulares pagaron la arroba a \$71.950 en fincas CE y a \$76.775 en fincas NC.

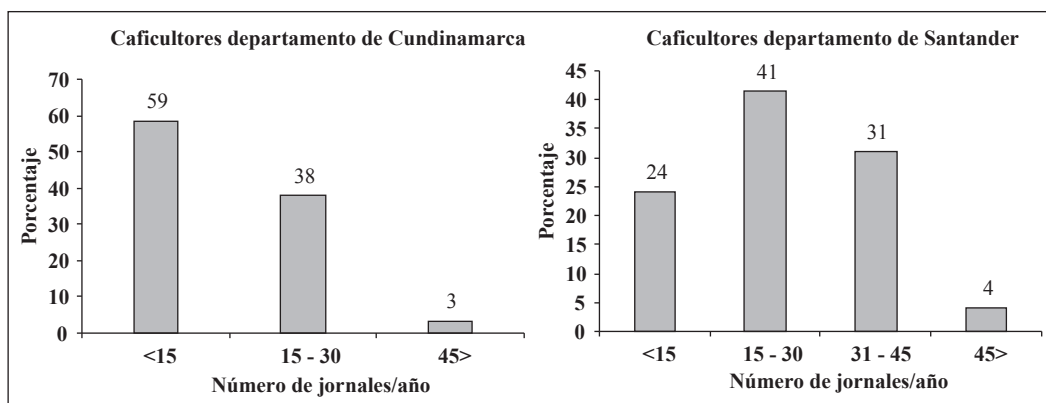


Figura 10. Tiempo dedicado a la certificación durante el año, en los departamentos.

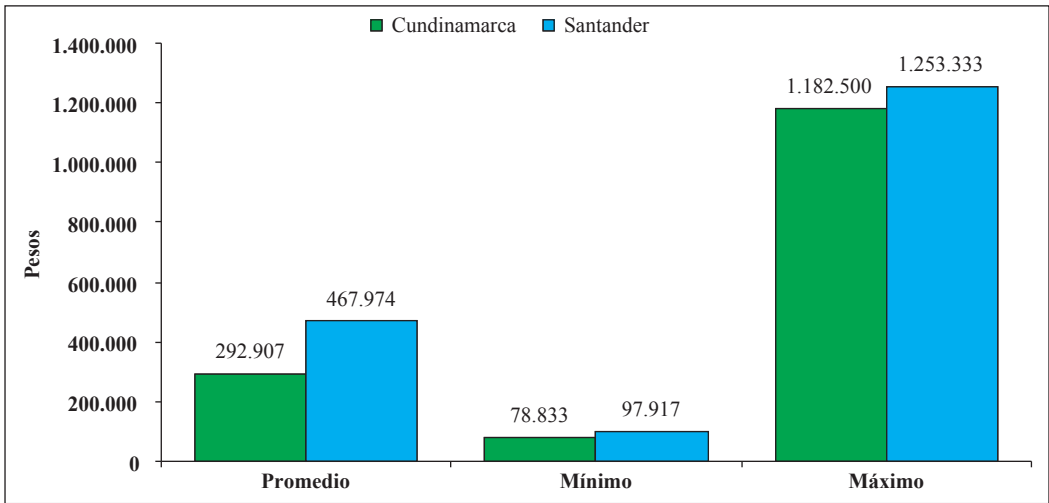


Figura 11. Equivalencia en pesos del tiempo dedicado a la certificación año 2009.

La Cooperativa de Caficultores en Santander pagó en promedio a \$70.800 por arrobas de café pergamino seco en fincas CE y \$64.175 por arroba en fincas NC. Los compradores particulares pagaron en promedio la arroba a \$64.450 a los caficultores CE y a los NC a \$69.425.

Se puede concluir que los diferentes métodos y herramientas estadísticas aplicadas en este estudio demuestran la diversidad de factores que diferencian a las fincas CE con RA de aquellas que no lo están, los cuales se evidencian en ventajas a nivel social: salario justo y buenas condiciones laborales, uso de equipos de protección para la aplicación de agroquímicos, mayor participación en capacitaciones y un buen aseo y orden en las fincas. Así mismo, en la dimensión ambiental las ventajas se traducen en: almacenamiento adecuado de los productos agroquímicos, manejo apropiado de residuos sólidos y el tratamiento correcto de las aguas residuales. En los factores económicos existen ventajas debido al precio diferencial en la compra del café pergamino

seco, menores costos de transacción y una variada alternativa de diversificación del ingreso. Esto indica que la relación entre la adopción de la norma y los beneficios obtenidos es directamente proporcional, así, al aumentar los beneficios demostrados en fincas CE, será mayor la adopción de la norma por parte de otros productores. Más beneficios y menos restricciones constituye la condición deseada, ya que permite la adopción de todo el componente que identifica el café certificado RA y, por ende, logra alcanzar mayores niveles de sostenibilidad integral.

Igualmente, la observación producto del seguimiento constante en campo realizado por los investigadores durante los años de estudio en las regiones cafeteras, permitió detectar los principales factores que en el contexto actual pueden restringir la adopción de la norma en fincas sin certificación, y a su vez limitar la continuidad de la ejecución de las buenas prácticas implementadas en fincas CE. Los escasos e insuficientes incentivos económicos por producir cafés especiales, las complejas exigencias de la cadena de

custodia, la tradición del productor campesino frente al uso de recursos, la escasez de recursos económicos y de mano de obra de las familias cafereras, se constituyen como los factores más limitantes en el caso de la certificación RA, Por lo tanto se evidencia que la relación entre los factores limitantes y la adopción de la norma es inversamente proporcional, de ese modo, al aumentar las restricciones, se afecta negativamente la adopción de la NAS, trayendo como consecuencia limitaciones en la adopción de la norma por parte de otros productores.

LITERATURA CITADA

1. ARMBRECHT, I.; CETRÁNGOLO, H.; GONZALES, T.; PERFECTO, I. Evaluación internacional del conocimiento, ciencia y tecnología en el desarrollo agrícola. Johannesburgo : IAASTD, 2008. 239 p.
2. ARBELÁEZ, D.; LENTIJO J., G.; FRANCO R., N.; CASTELLANOS S., O.; LÓPEZ L., A.; BOTERO, J.E. Influencia del mercado de los cafés especiales sostenibles en la conservación de las aves de Colombia. En: Congreso de ornitología neotropical. (8 : Mayo 13–19 2007 : Caracas). Caracas : El congreso, 2007.
3. BERNAL, R.; CÁRDENAS, M. Determinantes del trabajo infantil en Colombia. Bogota : Colombia productiva : Northwestern university : FEDESARROLLO, 2006. 48 p.
4. BRAGA, G. Forma y equilibrio sociales. En: PARETO, W. Tratado de sociología general. Madrid : Alianza, 1980. 332 p.
5. CIMMYT. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas. México : Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo, 1993. 88 p.
6. DANE. Análisis en profundidad y términos comparativos de los años 2001, 2003, 2005 y 2007 sobre trabajo infantil. [En línea]. Bogotá : DANE, 2008. Disponible en internet: <http://www.dane.gov.co>. Consultado en Octubre de 2010.
7. DANE. Metodología déficit de la vivienda en Colombia. [En línea]. Bogotá : DANE, 2009. Disponible en internet: <http://www.dane.gov.co>. Consultado en Noviembre de 2010.
8. DUQUE O., H. Adopción de una variedad de café resistente a la roya; el caso de la variedad Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2005. 76 p.
9. FNC. Colombia es café. [En línea]. Bogotá : FNC, 2011. Disponible en la intranet institucional. (Consultado el 15 de Febrero del 2012).
10. FNC. Perspectivas de la caficultura colombiana. p. 1-11. En: Conferencia internacional del café (3 : Febrero 26-28 2010 : Ciudad de Guatemala). Guatemala : Organización Internacional del Café, 2010. 11 p.
11. FNC. Informe del gerente general: LXXXV congreso nacional de cafeteros. [En línea]. Bogotá : FNC, 2010. Disponible en internet: <http://www.federaciondefeteros.org>. Consultado en 2010.
12. FNC. Congreso nacional cafetero: Informe del comité de cafeteros de Cundinamarca. [En línea]. Bogotá : FNC, 2009. Disponible en internet: <http://www.federaciondefeteros.org>. Consultado en 2010.
13. FNC. Congreso nacional cafetero: Informe del comité de cafeteros de Santander. [En línea]. Bogotá : FNC, 2009. Disponible en internet: <http://www.federaciondefeteros.org>. Consultado en 2010.
14. HOFFMANN P., R. Impactos sociales y ambientales de la certificación Rainforest Alliance en haciendas productoras de café en Brasil. Sao Paulo : Universidad de Sao Paulo, 2008. 197 p.
15. JARAMILLO R., A. Condiciones climáticas de algunas cabeceras municipales de Cundinamarca y Santander. Chinchiná : CENICAFÉ. 2011. (Comunicación personal).
16. LACKI, P. El libro de los pobres rurales: Desarrollo agropecuario de la dependencia al protagonismo del agricultor. [En línea]. Curitiba : [s.l.], 2006. Disponible en <http://www.polanlacki.com.br/agroesp>. Consultado en Octubre de 2010.
17. MAS A., H.; DIETSCH T., V. Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: Butterflies and birds in Chiapas, México. Ecological applications 14(2004):642-654. 2004.
18. OAG. La voz de la mujer cafetera. Bogota : Consejería presidencial para la equidad de género, 2008. 24 p. (Boletín No. 10).
19. PEÑUELA M., A.E.; DUQUE O., H.; DUSSÁN L., C. Impacto económico del proyecto de café especial “La Vereda”, en el municipio de Riosucio, Caldas. Cenicafé 58(3):196-215. 2007.

20. PERFECTO I., J.; VANDERMEER A., M.; SOTO P., L. Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological economics* 54(5):435-446. 2005.
21. RAINFOREST ALLIANCE. Norma de agricultura sostenible de la RAS. [En línea]. New York : Rainforest Alliance, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.rainforest-alliance.org/es/agriculture/standards>. Consultado el 15 de Febrero de 2012.
22. RAYNOLDS L., T.; MURRAY, D.; HELLER, A. Regulating sustainability in the coffee sector: A comparative analysis of third-party environmental and social certification initiatives. *Agriculture and human values* 24(2):147-163. 2007.
23. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; ÁLVAREZ H., J.R. Beneficio ecológico del café. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 273 p.
24. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).

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.

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.**
Gustavo Echeverri M.

**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
Gloria María Lentijo J., Bióloga M.Sc.
José Rafael Rodríguez N., Lic. Biología y Química. Esp.
Jenifer Andrea Galeano S., Bióloga
Beatriz Eugenia Toro M., Ing. Química
Emanuel Andrés Ruiz M., Biólogo
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química
Viviana Lorena Bohórquez Z., Bióloga
Samuel Antonio Castañeda
Andrés Felipe Osorio O., Aprendiz Universitario
Ingrid Daniela Narváez M., Aprendiz

Fisiología vegetal

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Néstor Miguel Riaño H., 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
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 A., Ing. Agrónomo
Claudia Marcela Mora A.
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
Andrés Felipe Castro Q., Ingeniero Agrónomo
Ana Lucía Domínguez V., Tec. Gestión de Recursos Naturales
Daniela Galvis C., Tec. en Control Ambiental
Juan Manuel Ramírez C., Técnico Profesional en Manejo y
Aprovechamiento de Bosques
Linedi Yurani Méndez J., Tec. en Producción Agrícola
Wilson Andrés Narváez G., Tec. en Producción Agrícola
Arturo Gómez V.
Laura Alejandra Sepúlveda F., Aprendiz

Fitotecnia

Víctor Hugo Ramírez B., Ing. Agrónomo M.Sc.
Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo **
Carlos Augusto Ramírez C., Tec. Técnicas Forestales
Leidy Tatiana Bermúdez F., Ing. Agrónomo
Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo
José Rubiel Castrillón G., Ing. Sistemas y Telecomunicaciones
Johanna Andrea Reyes O., Tec. Manejo de Gestión Ambiental
Luis Carlos Camayo C., Tec. Adm. Empresas Agropecuarias
Marilyn Pérez B., Tec. en Gestión de Recursos Naturales
Rodrigo León Patiño L., Tec. Recursos Naturales Renovables
Yimmy Alejandro Bedoya, Tec. en Control Ambiental

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., Ingeniera Biológica **
Audberto Quiroga M. Biólogo
Daniela Gómez S. Ingeniera de Alimentos
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Nelson Duque Rincón, Tec. en Sist. de Información Geográfica
Jairo Jaramillo O., Tec. en Electrónica
Luis Enrique Chanchí A.
Hernán Díaz C.

Cruz Elena Díaz M.
Jairo Nieto L.
Omar Villarreal
Sandra Liliana Largo V.
Diana Marcela Giraldo V.
Duván Gallego A.

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. Administración de Empresas Agropecuarias
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.,
Diana Soraya Rodríguez A.,Téc. en Producción de Café
Claudia Bibiana Tabares B.
Jairo Hernán Henao D.
Faber de Los Ríos P.

Agroclimatología

Andrés Javier Peña Q., Ing. Agrónomo M.Sc.
Julián Andrés Valencia A., Ing. Agrónomo **
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola
Sergio Enrique Gutiérrez S., Ingeniero 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.
Carlos Alberto Rivillas O., 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
Angélica María Campuzano C., Ing. de Alimentos, M.Sc
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial M.Sc.
Montserrat Dayana Prieto Muñoz, Ing. Agrónoma, Esp.
Paola Andrea Espejo G. Antropóloga **
Mario López L.

Ingeniería agrícola

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.

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
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola
Carlos Alfonso Tibaduiza V. Ing. Agrícola
Javier Arias H.
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias**
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D

Estación Central Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo**

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 Paraguaito

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 Willmar Valencia G. Tec. en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información

Economía

César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Marisol González G., Economista

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
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
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. Mecatrónico**
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.
Andrés Julián Rendón O., Aprendiz Universitario

Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica 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.**
Leydi Johana Pavi R., Aprendiz
Sheryl Janiny Lozano M., Aprendiz

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 Álzate O., Ing. Industrial 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
Kelly Johana Correa A., Prof. en Adm. de Mercadeo
Lina María Giraldo, Tec. Asistente Administrativo**
Jury Marcela Cárdenas R., Aprendiz
María Paz Agudelo C., 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 Telecomunicaciones, Esp.
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones, Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y
Telecomunicaciones. Esp.
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. Sistemas y Telecomunicaciones

*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 diame
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>:
 $A = R \times K \times S \times L \times C \times P <1>$
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas

TABLAS Y FIGURAS

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

ECUACIONES

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

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.
- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $m^3 \cdot s^{-1}$ y no m^3s^{-1} , que podría indicar milisegundos).

- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - _ El rendimiento en peso seco fue de 5 g.día⁻¹, y no 5 g de peso seco.día⁻¹
 - _ Se aplicaron 25 g.ha⁻¹ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
 - _ Cada planta recibió 20 g.ha⁻¹ de agua, y no 20 g H₂O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/materia)
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones

BIBLIOGRAFÍA

Antes de enviar las propuestas de publicaciones tenga en cuenta los siguientes modelos para citar las bibliografías, de acuerdo con los criterios determinados por el Comité Editorial de Cenicafé.

Libros, folletos y monografías

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

Partes o capítulo de un libro

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

Ponencias

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

Trabajos de grado

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

Congresos, Seminarios, Simposios

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

Artículos de revistas

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

Separatas y reimpresos

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

Boletines y Publicaciones en serie

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

Normas

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

Documentos electrónicos

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título – Máximo 16 palabras

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

Resumen – Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras
- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título

Abstract - Máximo 250 palabras

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

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

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

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

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

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

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas)
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación
- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto
- El mensaje central debe ser suficientemente claro
- Indique la aplicación de los resultados
- Interprete los resultados
- Discuta hechos controversiales con objetividad
- Permitale 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
Juan Carlos Ortiz
César Ramírez
Juan R. Sanz
Carlos Oliveros

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