

# Cenicafé

Revista del  
Centro Nacional de Investigaciones de Café



---

Volumen 62 Número 1

Enero - Junio 2011





**Ministro de Hacienda y Crédito Público**  
Juan Carlos Echeverry Garzón  
**Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural**  
Juan Camilo Restrepo Salazar  
**Ministro de Comercio, Industria y Turismo**  
Sergio Díaz Granados  
**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  
Dario 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**  
ANDRÉS VALENCIA PINZÓN

**Gerente Comunicaciones y Mercadeo**  
LUIS FERNANDO SAMPER GARTNER

**Gerente Técnico**  
RICARDO VILLAVECES PARDO

**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 Cenicafé, deben obtener el permiso del Centro Nacional de Investigaciones de Café y del autor del artículo y reconocer por escrito los créditos a la Revista Cenicafé como fuente original del material.

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

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

---

Editada en Agosto 2012  
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales  
E-mail: [cenicafe@cafedecolombia.com](mailto:cenicafe@cafedecolombia.com)  
[www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org)

# Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 62

ENERO - JUNIO 2011

No. 1

## CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>CONOCIMIENTO Y APLICACIÓN DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS POR PARTE DE CAFICULTORES EN LA REGIÓN CENTRAL CAFETERA.</b> César Alberto Serna-Giraldo; Luis Fernando Salazar-Gutiérrez.....                                                                              | 7   |
| <b>EVALUACIÓN DE INGREDIENTES ACTIVOS DE PLAGUICIDAS APLICADOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAFETEROS CERTIFICADOS Y NO CERTIFICADOS EN CUNDINAMARCA Y SANTANDER.</b> Gabriel Cruz-Cerón; Jhon Félix Trejos-Pinzón; César Alberto Serna-Giraldo; Paola Andrea Calderón-Cuarta..... | 17  |
| <b>EVALUACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN TERRENOS DE ALTA PENDIENTE.</b> Jhon Alexander Castañeda-Beltrán; Esther Cecilia Montoya-Restrepo; Carlos Eugenio Oliveros-Tascón; Juan Carlos Vélez-Zape.....                                                        | 32  |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE COCHINILLAS HARINOSAS EN RAÍCES DE CAFÉ EN DEPARTAMENTOS CAFETEROS DE COLOMBIA.</b> Clemencia Villegas-García; Pablo Benavides-Machado .....                                                                                                               | 48  |
| <b>PRODUCCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ.</b> Nelson Rodríguez-Valencia; Diego Antonio Zambrano-Franco.....                                                                                                                                                       | 56  |
| <b>PRODUCTIVIDAD DEL CAFÉ EN TRES EDADES DE TRASPLANTE E INTERCALADO CON MAÍZ Y FRÍJOL ARBUSTIVO.</b> Argemiro Miguel Moreno-Berrocal; Pedro María Sánchez-Arciniegas.....                                                                                                      | 70  |
| <b>PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ANDISOL DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA Y SU INFLUENCIA SOBRE LOS DESLIZAMIENTOS.</b> Jorge Enrique Barrera-Gutiérrez; José Horacio Rivera-Posada.....                                                                                              | 76  |
| <b>SISTEMA OPTO-ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ POR ESTADOS DE MADURACIÓN.</b> Paula Jimena Ramos-Giraldo; Juan Rodrigo Sanz-Urbe; Jorge Hernán Estrada-Estrada.....                                                                                       | 87  |
| <b>VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO, EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN COLOMBIA.</b> Fernando Farfán-Valencia; Edgar Hincapié-Gómez.....                                                                                  | 100 |

## COMITÉ EDITORIAL

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

## EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 62 (1)

|                        |                                                        |
|------------------------|--------------------------------------------------------|
| Juan Rodrigo Sanz U.   | Ph.D. Cenicafe, Federación Nacional de Cafeteros (FNC) |
| Víctor Hugo Ramírez B. | M.Sc. Cenicafe, FNC                                    |
| Hernán González O.     | M.Sc. Cenicafe, FNC                                    |
| Marisol Giraldo J.     | M.Sc. Cenicafe, FNC                                    |
| Paula J. Ramos G.      | M.Sc. Cenicafe, FNC                                    |
| Argemiro M. Moreno B.  | M.Sc. Cenicafe, 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

|                        |                                                                        |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Pablo Benavides        | Ph.D. Cenicafe, FNC                                                    |
| Siavosh Sadeghian      | Ph.D. Cenicafe, FNC                                                    |
| Víctor Hugo Ramírez B. | M.Sc. Cenicafe, FNC                                                    |
| Juan Carlos García L.  | Ing. Agrónomo. Cenicafe, FNC                                           |
| Aída Esther Peñuela M. | M.Sc. Cenicafe, FNC                                                    |
| Juan D. Buenaventura   | Diseñador Industrial. Cenicafe, FNC                                    |
| Juan Carlos Loaiza     | Ph.D. Geomorfología y Suelos, Universidad Nacional sede Medellín       |
| Édgar Hincapié         | Ph.D. Suelos y Aguas, FNC                                              |
| Rolando Tito Bacca I.  | Ph.D. Universidad de Nariño                                            |
| Andrea Amalia Ramos P. | Ph.D. Instituto Colombiano Agropecuario                                |
| Fernando Álvarez M.    | M.Sc. Ing. Agrícola. Universidad Nacional sede Medellín                |
| Javier García González | M.Sc. Universidad de Sao Paulo                                         |
| Luis Carlos Ríos Q.    | M.Sc. Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira          |
| Mario Arias Z.         | Ph.D. Laboratorio de Biotecnología, Universidad Nacional sede Medellín |
| Franco H. Obando M.    | Ph.D. Manejo de Suelo y Agua, Universidad de Caldas                    |
| Ramiro Ramírez P.      | M.Sc. Ciencias del Suelo, Universidad Nacional sede Medellín           |
| Alma Henao T.          | Bibliotecóloga. Cenicafe, FNC                                          |
| Olga Umaña C.          | M.A. Traducción. Lic. en Lenguas Modernas                              |

---

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

# CONOCIMIENTO Y APLICACIÓN DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS POR PARTE DE CAFICULTORES EN LA REGIÓN CENTRAL CAFETERA

César Alberto Serna-Giraldo\*; Luis Fernando Salazar-Gutiérrez\*

---

## RESUMEN

**SERNA G., C.A.; SALAZAR G., L.F. Conocimiento y aplicación de prácticas de conservación de suelos por parte de caficultores en la región central cafetera. Revista Cenicafé 62(1):7-16. 2011**

En la región cafetera central de Caldas, Quindío y Risaralda, con el fin de conocer las prácticas de conservación de suelos que realiza el agricultor en cafetales y su nivel tecnológico, se encuestaron 228 agricultores, con un error de estimación de 6,4% y confiabilidad del 95%. Las encuestas se realizaron en cada finca por el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros, entre 2006 y 2007; se tuvo en cuenta la tipología del caficultor, el sistema de cultivo y el riesgo a la erosión. En más del 70% de la fincas se aplicaron las prácticas de manejo integrado de arvenses, siembra a través de la pendiente, trazo en curvas a nivel y selección de coberturas nobles. Las prácticas de menor aplicación fueron barreras vivas y trinchos, con valores de 55% y 35%, respectivamente. En el 94% de las fincas se utiliza la pulpa como abono para el café, y en menos del 6% se utilizaba el azadón para el manejo del suelo. En más del 80% de las fincas no se realizaban quemas, factor que se relaciona con las prácticas culturales de los caficultores del área de estudio. Hubo asociación estadística significativa ( $P \leq 0,1$ ), entre la siembra a través de la pendiente e implementación de trinchos con respecto a los caficultores que calificaron importante la erosión del suelo, y que no realizaron quemas. Los resultados se atribuyen a los programas de investigación y extensión del gremio cafetero, y a la inherencia de la conservación de suelos y aguas en los sistemas productivos de café.

**Palabras clave:** Erosión del suelo, sistema de cultivo, café.

---

## ABSTRACT

In order to know the soil conservation practices used by farmers in coffee crops and their technological level, 228 farmers were surveyed in the central coffee region of Caldas, Quindio and Risaralda, with an estimation error of 6.4% and reliability of 95%. The surveys were conducted between 2006 and 2007 on each farm by the Extension Service of the National Federation of Coffee Growers; the type of farmer, the farming system and the risk of erosion were taken into account. In over 70% of the farms, practices of integrated weed management, planting across the slope, contour line and selection of smooth weeds were applied. The lowest practical applications were hedgerows and fences, with values of 55% and 35% respectively. Pulp is used as fertilizer for coffee in 94% of the farms, and hoes are used for soil management in less than 6% of them. Burning practices were not conducted in over 80% of the farms, a factor that is related to the cultural practices of the farmers in the study area. There was a statistically significant association ( $P \leq 0.1$ ), between planting through the slope and implementation of fences with respect to farmers who said soil erosion was important and they did not do any burning. The results are attributed to research and extension programs of the coffee growing field, and the inherence of soil and water conservation in coffee production systems.

**Keywords:** Soil erosion, cropping system, coffee.

---

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

Cerca del 90% de la zona cafetera central del departamento de Caldas es susceptible a pérdidas potenciales de suelo superiores a 25 Mg.ha-año<sup>-1</sup>, mientras que el 30% puede presentar pérdidas potenciales de suelo superiores a 100 Mg.ha-año<sup>-1</sup>, lo cual implica que el 78% de ésta región se clasifique como zona de alto riesgo a la erosión (12). En la zona cafetera de Dosquebradas (Risaralda) los valores máximos de erosión potencial alcanzan las 300 Mg.ha-año<sup>-1</sup> (5); en tanto que otros estudios estimaron que la erosión potencial en la zona cafetera de Caldas, Quindío y Risaralda es superior a 600 Mg.ha-año<sup>-1</sup> (13). Esta situación demuestra la importancia de las prácticas de conservación de suelos y aguas, especialmente en zonas de ladera, donde se estima que a pesar de los efectos derivados de la erosión año tras año, su conocimiento y aplicación por parte de los agricultores es baja. El discernimiento del nivel de conocimiento y aplicación de estas prácticas, es importante para la creación y ajuste de políticas, planes, programas y proyectos que contribuyan a la prevención y mitigación de la erosión de los suelos en la región cafetera, que faciliten la investigación, adopción y adaptación de las tecnologías correspondientes.

De acuerdo con Knowler y Bradshaw (9) son pocas las variables universales que se pueden relacionar con la adopción de prácticas de conservación de suelos, siendo el capital financiero el factor más importante asociado a la adopción de la agricultura de conservación. En este sentido, la adopción y adaptación exitosa y sostenible de estas prácticas depende en gran medida de los costos e inversiones que hay detrás de ellas. Autores como Zhou *et al.* (17), reportan que en áreas con mayor riesgo de erosión, la siembra directa y la implementación de estructuras de estabilidad son económicamente viables, mientras que en terrenos con bajo riesgo de erosión, ocurre lo contrario. De

allí, la importancia de establecer las relaciones costo beneficio para la implementación de estas prácticas.

Según Kessler (7) el bienestar de las familias campesinas es el factor más decisivo al momento de invertir en prácticas de conservación. Son los agricultores dinámicos y responsables, motivados a participar, quienes realizan inversiones en conservación, principalmente en tiempo y trabajo, las cuales se asocian a prácticas sencillas cercanas a su propiedad, donde los problemas de erosión son más visibles, ya que prefieren no correr riesgos en sitios donde pueden perder su inversión, por no obtener los resultados esperados. Es así como de acuerdo con Kessler (7), para mejorar la adopción de las prácticas de conservación se deben seguir las siguientes recomendaciones:

1. Enfoque en sistemas sostenibles de producción agrícola, que brinden progreso al productor. La transferencia es de agricultor a agricultor, y éstos se convierten en líderes de la conservación.
2. Lograr un impacto a corto plazo en sitios ubicados estratégicamente, lo cual contribuye con la motivación.
3. Mejorar la rentabilidad de la agricultura, al integrar las prácticas de conservación a los sistemas de producción que aumenten la productividad.
4. Mejorar el acceso a los mercados; invertir en satisfacer las necesidades básicas de los hogares, promoción y diversificación de los ingresos.

Para Nyssen *et al.* (11), el manejo de los suelos y las prácticas de conservación en zonas tropicales montañosas se ha convertido en parte inherente del sistema productivo. Lo anterior, puede ocurrir en la zona cafetera colombiana

donde las prácticas de conservación de suelos se integran cotidianamente a los sistemas de producción de café, como el manejo adecuado de las aguas, la siembra en contorno, el manejo integrado de arvenses, las labores de siembra con el mínimo disturbio del suelo y la conservación de fuentes hídricas, entre otras (2). Según Vignola *et al.* (16), programas institucionales que promueven la asistencia técnica favorecen positivamente la adopción de prácticas de conservación de suelos. Dicha gestión la realiza la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, gremio que desde su fundación en 1927, se ha interesado por el bienestar de las familias cafeteras, y mediante sus procesos misionales de Investigación Científica y Tecnológica y Extensión Rural ha contribuido a la sostenibilidad de las laderas de Colombia en su dimensión económica, ambiental y social (14). En este sentido, se planteó el estudio sobre las prácticas que realiza el agricultor para la conservación de los suelos en cultivos de café y el nivel de aplicación de éstas en la zona cafetera de Caldas, Quindío y Risaralda.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda; se muestrearon 47 de los 50 municipios cafeteros incluidos en el Sistema de Información Cafetera – SIC@ - Web (1). El 75% de las fincas se localizaron entre los 1.300 y 1.700 m de altitud, y la precipitación media anual fluctuó entre 1.814 y 5.527 mm.año<sup>-1</sup> para Caldas,

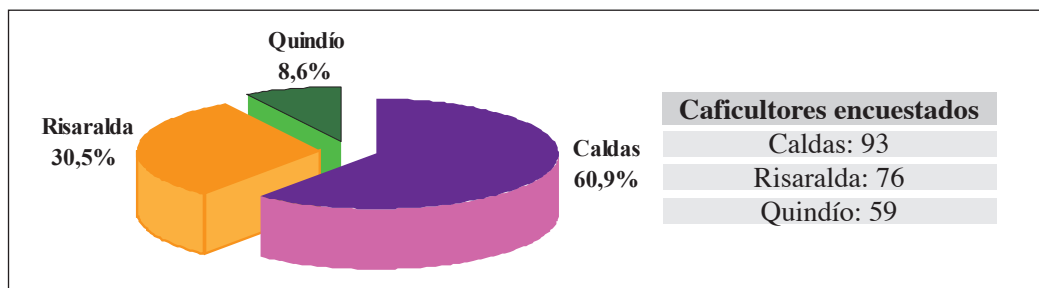
1.825 y 2.739 mm.año<sup>-1</sup> para Quindío, y entre 1.536 y 2.939 mm.año<sup>-1</sup> para Risaralda (6).

Se desarrolló una investigación de tipo específico exploratorio, que buscó familiarizarse con tópicos sobre las prácticas de conservación del suelo. Se aplicó un diseño no experimental transversal (10). Se encuestaron 228 agricultores de un total de 85.527, para los 47 municipios encuestados. En la Figura 1, se observa el total de fincas cafeteras por departamento, con el número de encuestados, para un error de estimación de 6,4% y una confiabilidad del 95%. Las encuestas se llevaron a cabo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2006 y enero de 2007, por personal adscrito al Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Posteriormente, se tabuló la información y se construyeron las bases de datos. Los criterios establecidos para la selección de las unidades muestrales fueron:

1. El tipo de agricultor, teniendo en cuenta variables género, edad, educación, experiencia, tipo de tenencia de la tierra, áreas y variedad de café. Estas características permitieron determinar aspectos socioeconómicos del caficultor y la finca.
2. El sistema de cultivo para lo cual se consideró la densidad de siembra, edad del cafetal, tipo de crecimiento, luminosidad, tipo de caficultura<sup>1</sup>, producción y prácticas agronómicas, permitiendo conocer los signos y causas asociados al problema de erosión.

---

<sup>1</sup> Se considera caficultura tecnificada, aquella sembrada con variedades Castillo®, Colombia, Caturra y Típica con arreglo espacial y densidad mayor o igual a 2.500 árboles/ha; y caficultura tradicional los cultivos en variedad Típica con o sin arreglo espacial y densidad de siembra menor a 2.500 árboles/ha. Fuente: SALDÍAS B., C.A. El sistema de información cafetera - SICA: Herramienta de consulta y planeación. Chinchina (Colombia), Cenicafe, 2006. (Seminario Agosto 11 de 2006).



**Figura 1.** Distribución de las fincas cafeteras por departamento y número de caficultores encuestados

3. El riesgo a la erosión, para lo cual se consideraron los siguientes niveles: conocimiento acerca de la erosión, gravedad, intensidad, importancia y pérdidas económicas, signos y causas de la erosión, entre otras, lo que permite conocer cómo ocurre el fenómeno de aplicación de prácticas y tecnologías de manejo adecuado del suelo.

En este sentido, la encuesta incluyó variables referentes a: Información general del administrador de la finca, aspectos socioeconómicos, datos sobre uso de la tierra, información asociada con los sistemas de producción y factores relacionados con la valoración del suelo.

La información obtenida con el instrumento de medición se ordenó en cuatro grupos, los cuales están planteados de acuerdo con los objetivos del estudio y clasificados en: Socioeconómico, uso de la tierra, sistemas de producción y valoración del suelo (Tabla 1).

Las variables de interés se definieron en la encuesta dentro del grupo valoración del suelo y prácticas sostenibles, ellas fueron: Calificación de la gravedad de la erosión, calificación de la intensidad de la

erosión, grado de importancia de la erosión y consideración de las pérdidas económicas a causa de la erosión. A estas variables se les evaluó la coincidencia o discrepancia con datos estructurales y de manejo del suelo, denominadas “variables complementarias”, las cuales fueron consideradas de relevancia para determinar el conocimiento que el caficultor tenía sobre la erosión del suelo y sus prácticas de conservación, realizando un cruce entre ellas mediante el uso de Tablas de contingencia.

Algunas variables continuas fueron tratadas como categóricas, con base en las escalas de clasificación construidas bajo la asesoría de varios investigadores de Cenicafé, principalmente en las especialidades de clima, sistemas de producción, suelo y biometría, o se consultaron estudios similares realizados por la Disciplina de Economía de esta institución. Para éstas se hizo un análisis de frecuencia, cruce de variables por medio de Tablas de contingencia y se les aplicó la prueba Chi-cuadrado al 10%, para definir las posibles relaciones de cada una de las características asociadas a los aspectos: Socioeconómicos, uso de la tierra, sistemas de producción y valoración del

suelo. Otro objetivo de la aplicación de la prueba Chi-cuadrado fue aceptar o rechazar la hipótesis de independencia entre cada una

de las variables de interés con las variables complementarias evaluadas.

Los análisis estadísticos fueron realizados

**Tabla 1.** Descripción de las características y unidades, por aspecto

| <b>Aspecto: Socioeconómico</b>                               | <b>Unidades</b>          |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Género del caficultor                                        |                          |
| Edad del caficultor                                          | Años                     |
| Nivel de educación del caficultor                            | Años de educación formal |
| Experiencia como caficultor                                  | Años                     |
| Tiempo de trabajo en la finca                                | Años                     |
| Tenencia de tierra                                           |                          |
| <b>Aspecto: Uso de la tierra</b>                             |                          |
| Área total de la finca                                       | Hectáreas                |
| Área en café                                                 | Hectáreas                |
| Área en otros cultivos                                       | Hectáreas                |
| Variedades de café sembradas                                 |                          |
| Clase de pendiente                                           |                          |
| Promedio de la pendiente del terreno                         | Grados                   |
| Altitud                                                      | Metros                   |
| Promedio de precipitación en la finca                        | mm.año <sup>-1</sup>     |
| <b>Aspecto: Sistemas de producción</b>                       |                          |
| Promedio de la densidad de siembra                           | Árboles/ha               |
| Promedio de edad de los cafetales                            | Años                     |
| Tipo de crecimiento                                          |                          |
| Luminosidad                                                  |                          |
| Tipo de caficultura prevalente                               |                          |
| Producción café en la finca                                  | kg café pergamino seco   |
| <b>Aspecto: Valoración del suelo y prácticas sostenibles</b> |                          |
| Conocimiento acerca de la erosión                            |                          |
| Gravedad, intensidad, importancia y pérdidas económicas      |                          |
| Signos y causas de la erosión                                |                          |
| Manejo integrado de arvenses                                 |                          |
| Prácticas conservación de suelos                             |                          |
| Utiliza herbicidas para el control de arvenses               |                          |
| Herramientas utilizadas para intervención de suelos          |                          |
| Uso de la pulpa                                              |                          |

usando el programa SAS V9.1, y Microsoft® Excel 97 para el manejo de las bases de datos de la información.

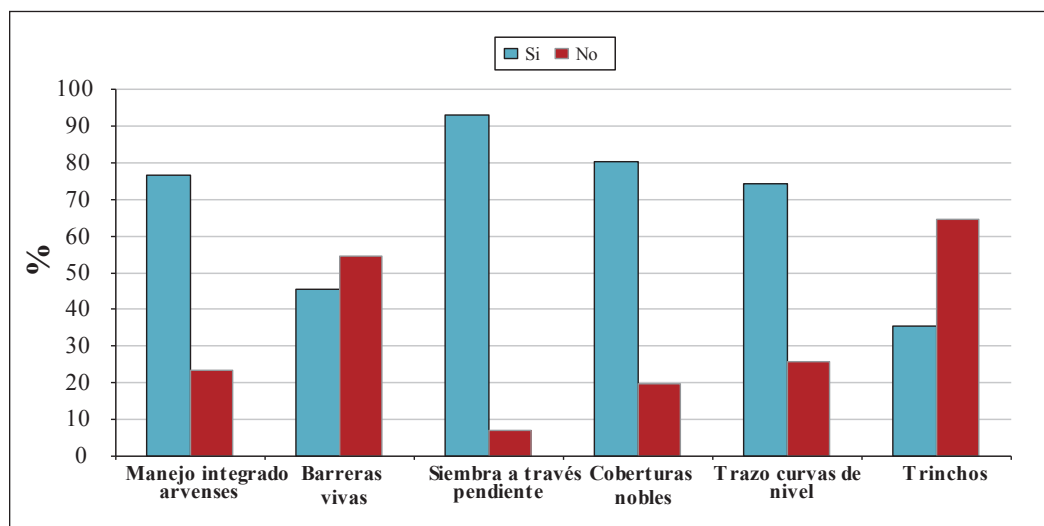
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 24% de los encuestados no completaron la educación primaria, el 51% presentó estudios de secundaria y el 41% de éstos adelantaron tecnologías, universidad o posgrados. Por lo tanto, el nivel de educación formal de los caficultores encuestados en este estudio es superior al encontrado en los inventarios y censos anteriores (1), que reportan un nivel promedio de 3,7 años. En lo referente al manejo del cultivo, un 75% tenía amplia experiencia en el cultivo del café (>10 años), el 85% eran propietarios de sus predios, un 68% correspondió a caficultura tecnificada, un 3% semitecnificada y 29% restante a cultivo tradicional.

La densidad promedio fue de 5.410 plantas/ha, con un máximo de 7.000 y un mínimo de 1.000 plantas/ha; el 53% de los cultivos estaba a libre exposición solar y el 47% restante bajo sombra o semisombra. La producción promedio fue de 1.585, la máxima de 16.500 y la mínima de 10 kg.ha-año<sup>-1</sup> de café pergamino seco. Los signos de erosión observados para las unidades productivas muestreadas fueron arrastre de suelos y formación de surcos por agua en un 77%, zonas improductivas en un 9%, y calvas o afloramiento del subsuelo por la pérdida del horizonte orgánico en un 5%. La identificación de los signos de erosión por los agricultores es de gran importancia, debido a que puede tener influencia en la decisión de las prácticas de manejo a realizar. La principal causante de la erosión fue la lluvia, según 51% de los encuestados, cerca del 40% la atribuyó a falencias de información adecuada, en prácticas de conservación o en el manejo apropiado del suelo, principalmente. Los encuestados que adjudicaron el principal problema de amenaza

a las lluvias descartaron la acción antrópica como principal componente de la erosión, lo cual deja claro la falta de mayor información respecto a los principales factores responsables de la erosión para la zona cafetera. En el caso del 57% de quienes atribuyeron el problema a la falta de prácticas de manejo y conservación de suelo, son una población potencialmente receptiva a una formación técnica específica en manejo y conservación de suelos. En lo referente al acceso del conocimiento, el 88% de los encuestados lo obtuvo de fuentes formales gubernamentales y no gubernamentales como el Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros (68,0%), Cenicafe (11,2%) y Umata (8,8%), y un 12% de fuentes no formales tales como otro agricultor (1,5%), libros (8,1%) o medios de comunicación (2,4%).

En el 76,8% de las fincas se realizaron prácticas de manejo integrado de arvenses, siembra a través de la pendiente en el 93%, trazo en curvas a nivel en el 74,1% y selección de coberturas nobles en el 80,3% de los casos. En la Figura 2 puede observarse el nivel de utilización de algunas prácticas de conservación. Las prácticas menos usadas fueron: las barreras vivas y los trinchos, con valores de 43,6% y 35,5%, respectivamente. La pulpa de café se utilizó adecuadamente en el 94% de los casos, es decir, como abono en el momento de la siembra o en etapa productiva del café y de otros cultivos transitorios o permanentes de la finca. En cuanto al azadón, que era una herramienta común en la intervención del suelo, ha ido desapareciendo su utilización, y se reportó su uso en el 6% de las fincas encuestadas; comportamiento similar reflejó la realización de quemas, práctica que fue reportada en el 15% de las fincas. Las razones expuestas por el 41% de los caficultores para no realizar estas actividades fue la toma de conciencia y formación ambiental que han ido adquiriendo.



**Figura 2.** Utilización de algunas prácticas de conservación de suelos.

**Tabla 2.** Distribución porcentual de las razones indicadas por los caficultores para no realizar algunas prácticas de conservación.

| Razones indicadas                                                        | Práctica de conservación de suelos (%) |                |                                  |                   |                           |          |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------------|---------------------------|----------|
|                                                                          | Manejo integrado de arvenses           | Barreras vivas | Siembra a través de la pendiente | Coberturas nobles | Trazo con curvas de nivel | Trinchos |
| No la considera necesario o no le funcionó                               | 9,4                                    | 45,2           | 0,0                              | 0,0               | 6,8                       | 64,7     |
| No la conoce, no sabe no responde                                        | 24,5                                   | 28,2           | 50,0                             | 35,6              | 35,6                      | 17,0     |
| Por altos costos o por dificultad de consecución mano de obra calificada | 22,7                                   | 5,6            | 0,0                              | 11,1              | 11,9                      | 2,7      |
| Realiza otras prácticas o no tiene tradición o experiencia en ella       | 43,4                                   | 21,0           | 50,0                             | 53,3              | 45,7                      | 15,6     |

Con los resultados indicados en la Tabla 2, se puede evidenciar la necesidad de programas de educación, extensión y transferencia en la concientización de los productores cafeteros

en cuanto a programas de conservación de suelos y aguas se refiere. Puede observarse la necesidad de reforzar aspectos técnicos asociados al uso de barreras vivas, trinchos,

manejo de arvenses nobles, el trazo de curvas a nivel, utilización barreras vivas, tratamientos de bioingeniería como trinchos vivos, estructura de costos de las diferentes prácticas, especialmente para el manejo integrado de arvenses. En este caso, podría aplicarse la estrategia de motivación implementada por Kessler (7), para favorecer el cambio de las prácticas tradicionales arraigadas a mejores prácticas de conservación de suelos. Esta estrategia consiste en invertir tiempo en la motivación de los agricultores y el logro de su participación genuina, lo cual se retribuye en resultados más sostenibles. Su principal enfoque se basa en la transferencia de agricultor a agricultor mediante productores líderes, el logro de impactos positivos visibles a corto plazo, el mejoramiento de la rentabilidad de la actividad agrícola al integrar las prácticas de conservación a las labores de producción e invertir en satisfacer sus necesidades básicas y el acceso a los mercados. Esta táctica coincide con lo propuesto en el año 1962, por Suárez y Rodríguez para Colombia (15), quienes consideraron que para la adopción de las prácticas de conservación de suelos, debe motivarse al caficultor en su propia finca, ya que el suelo y el agua son su capital, y de ellos deriva su subsistencia. En este sentido los argumentos más válidos son los económicos.

Del 70,5% de los caficultores que calificaron importante la erosión del suelo, un 90% realiza siembras a través de la pendiente y el 40% elabora trinchos. El 67,5% correspondió al segmento de la población con mayor grado de tecnificación, de los cuales el 86,4% no realizaron quemas, ya que relacionaban dicha práctica con la intensificación de los fenómenos erosivos. Este mismo grupo de caficultores consideró como grave la erosión, en el 53,5% de los casos, y de alta severidad su intensidad en el 12,4% de los caficultores; así mismo consideraron representativas las pérdidas económicas por el 54,9% de los

encuestados con alto grado de tecnificación. Se encontró significancia ( $P \leq 0,1$ ) entre los caficultores que no realizaron quemas y consideraron severa la intensidad de la erosión. Para las demás variables que se cruzaron, entre ellas el nivel de educación y la edad, presentaron significancia estadística superior al 10%, lo que indica que no hubo relación estadística significativa de asociación. Del 97% de los caficultores que tienen su caficultura con algún grado de tecnificación, es decir, sus fincas no son consideradas como cultivos tradicionales, el 29,4% cursaron primaria más algunos años de secundaria. Los anteriores resultados permiten inferir que no necesariamente, a mayor nivel de estudios, se adquiera una mayor conciencia y conocimiento respecto a la utilización de estas prácticas.

Para Vignola *et al.* (16), los agricultores con mayor nivel de educación conocen la importancia de la aplicación de las prácticas de conservación de suelo, al entender su relación con la productividad. La educación influye en la adopción, en el entendimiento de las consecuencias de la degradación y en el cambio de comportamiento. Sin embargo, es poco probable que la educación y la formación sean suficientes en sí mismos para generar un cambio de comportamiento generalizado, se requiere además de la combinación de otros instrumentos políticos (3). En este sentido, no solo se requiere un cambio de actitud a nivel de vereda o de finca, sino también a nivel institucional y político (8).

Se puede concluir que:

El conocimiento de la importancia de la erosión y la aplicación de las prácticas de conservación de suelos por parte de los agricultores de la zona cafetera de Caldas, Quindío y Risaralda fue alto, reflejado en la utilización de las prácticas; se demostró que una proporción que superó el 80% de

caficultores, tiene conciencia ambiental, indicada en la utilización de la pulpa como abono, y en que no ejecutaron prácticas como quemas y el azadón. Este conocimiento se ha ganado en gran parte por el Servicio de Extensión y Cenicafé, según el 79% de los encuestados. El 76,8% de los caficultores realizaron el manejo integrado de arvenses, el resto no lo aplicaron por desconocimiento de las prácticas o porque prefieren continuar con prácticas tradicionales, o tienen la percepción de que es más costoso.

Los programas de educación y extensión para el conocimiento de la erosión, deben profundizar principalmente en la identificación de los factores causales de la erosión, así como en las prácticas de conservación, sobre el conocimiento y función de las barreras vivas, la elaboración de trinchos y demás obras de bioingeniería, los costos del manejo integrado de arvenses, la identificación de arvenses nobles y el trazo de curvas a nivel; lo anterior debido a que solo el 46,5% de los caficultores que indicó saber qué es la erosión, solo un poco más de la tercera parte dio una definición o explicación válida, el restante 66% tuvo confusión especialmente con los movimientos en masa.

Si se aplican las prácticas y tecnologías para el manejo adecuado del suelo, a corto plazo se podrían ver disminuidos los beneficios económicos netos; sin embargo, a mediano y largo plazo se traducirá en sostenibilidad, convirtiéndola en una opción rentable económica y ambientalmente, como se ha demostrado con la utilización del manejo integrado de arvenses, considerada como una de las prácticas más eficientes para la prevención de la erosión, cuyo costo no se atribuye a las prácticas de conservación de suelos sino a las labores agronómicas del cultivo, por tratarse de una modificación al método tradicional de manejo de arvenses (4).

## AGRADECIMIENTOS

Al Servicio de Extensión de los Comités Departamentales de Caldas, Risaralda y Quindío, y caficultores encuestados. A los doctores Gabriel Cruz Cerón y Paola Andrea Calderón C., y en Cenicafé al Dr. Álvaro Jaramillo R.

## LITERATURA CITADA

1. FNC. Sistema de información cafetera SICA: Encuesta nacional cafetera informe final. Bogotá : FNC, 1997. 178 p.
2. GÓMEZA, A.; GRISALES G., A.; SUÁREZ S., J. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná : CENICAFÉ, 1975. 267 p.
3. GUNNINGHAM, N. Incentives to improve farm management: EMS supply-chains and civil society. *Journal of environmental management* 82:302-310. 2007.
4. HINCAPIÉ G., E.; SALAZAR G., L.F. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 12 p. (Avances Técnicos No. 359).
5. HOYOS N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the colombian Andes. *Catena* 63:85-108. 2005.
6. JARAMILLO R., A.; RAMÍREZ B., V.H.; ARCILA P., J. Patrones de distribución de la lluvia en la zona cafetera. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 12 p. (Avances Técnicos No. 410).
7. KESSLER, C.A. Decisive key-factors influencing farm households' soil and water conservation investments. *Applied geography* 26:40-60. 2006.
8. -----, Motivating farmers for soil and water conservation: A promising strategy from the Bolivian mountain valleys. *Land use policy* 24:118-128. 2007.
9. KNOWLER, D.; BRADSHAW, B. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food policy* 32:25-48. 2007.
10. MONTROYA R., E.C. El método científico. Chinchiná : CENICAFÉ, 1999. 140 p.

11. NYSSSEN, J.; POESEN, J.; DECKERS, J. Land degradation and soil and water conservation in tropical highlands. *Soil & tillage research* 103:197-202. 2009.
12. RAMÍREZ O., F.A.; HINCAPIÉ G., E. Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas. *Cenicafé* 60(2):173-189. 2009.
13. RIVERA P., J.H.; GÓMEZ A., A. Erosión potencial de los suelos de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda) y su aplicabilidad en la orientación del uso, manejo y conservación. *Cenicafé* 44(4):141-154. 1993.
14. SILVA L., G. Organizaciones privadas, dividendos públicos: La institucionalidad cafetera como modelo de equidad y estabilidad para el sector rural colombiano. *Ensayos sobre economía cafetera* 17(20):7-30. 2005.
15. SUÁREZS., F.; RODRÍGUEZ, A. Investigaciones sobre erosión y la conservación de suelos en Colombia. Bogotá : FNC, 1962. 473 p.
16. VIGNOLA, R.; KOELLNER, T.; SCHOLTZ, R.W; MCDANIELS, T.L. Decision-making by farmers regarding ecosystem services: Factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica. *Land use policy* 27:1132-1142. 2010.
17. ZHOU, X., AL-K., M.; HELMERS, M.J. Cost effectiveness of conservation practices in controlling water erosion in Iowa. *Soil & tillage research* 106:71-78. 2009.

# EVALUACIÓN DE INGREDIENTES ACTIVOS DE PLAGUICIDAS APLICADOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CAFETEROS CERTIFICADOS Y NO CERTIFICADOS EN CUNDINAMARCA Y SANTANDER.

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

## RESUMEN

**CRUZ C., G.; TREJOS P., J.F.; SERNA G. C.A.; CALDERÓN C., P.A. Evaluación de ingredientes activos de plaguicidas aplicados en sistemas de producción cafeteros certificados y no certificados en Cundinamarca y Santander. Revista Cenicafé 62(1):17-31.2011**

Se realizó un estudio para determinar la cantidad de ingrediente activo (i.a) de productos plaguicidas, aplicado en el año 2009 en fincas certificadas (CE) con el sello Rainforest Alliance y no certificadas (NC). Se tomó información a través de encuestas y entrevistas a los caficultores sobre las prácticas culturales y productos plaguicidas aplicados, con registro periódico de las actividades realizadas en 72 fincas CE e igual número de NC, en los departamentos de Cundinamarca y Santander. En el 72% del total de fincas evaluadas (CE y NC) no aplicaron plaguicidas. Los ingredientes activos usados por los caficultores fueron oxiclóruo de cobre, glifosato, clorpirifos, triadimefón, mancozeb, cymoxanil, propineb, difenoconazol y dimetoato. Se encontró que los sistemas de producción CE y NC recurren al uso de plaguicidas para el manejo de la broca y la roya del café; el clorpirifos se constituye en el ingrediente activo más aplicado en ambos tipos de sistemas de producción. En los sistemas diversificados NC se registra una demanda de plaguicidas en el manejo de los cultivos, y se destaca la implementación en las fincas de un manejo integral de arvenses, plagas y enfermedades. La aplicación de plaguicidas en sistemas de producción CE cumple con las normas de certificación, debido a que no se incluyen plaguicidas prohibidos por las agencias internacionales que regulan este tipo de químicos, en la protección de cultivos. Adicionalmente, la cantidad aplicada de ingrediente activo en dosis por hectárea, para la mayoría de los sistemas CE, se realiza de forma controlada y con la recomendación técnica pertinente.

**Palabras clave:** Ingrediente activo, Rainforest Alliance, manejo de plagas, enfermedades, arvenses.

## ABSTRACT

A study to determine the amount of active ingredient (a.i.) of pesticide products applied in 2009 on certified farms (CE) with the Rainforest Alliance seal and not certified (NC) farms was conducted. The information was obtained from surveys and interviews conducted with growers on cultural practices and pesticide products applied, with a periodic record of the activities done in 72 CE farms and as many in NC farms, in the departments of Cundinamarca and Santander. In 72% of all farms evaluated (EC and NC) pesticides were not applied. The active ingredients used by growers were copper oxychloride, glyphosate, chlorpyrifos, triadimefon, mancozeb, cymoxanil, propineb, difenoconazole and dimethoate. It was found that EC and NC production systems resort to using pesticides for CBB and coffee rust control; chlorpyrifos becomes the most active ingredient applied in both types of production systems. In NC diversified systems, there is a demand for pesticides in crop management, and the on-farm implementation of an integrated weeds, pests and diseases management is highlighted. The application of pesticides in CE production systems complies with the certification regulations because they are not included in the pesticides banned by international agencies that regulate such chemicals in crop protection. Additionally, the applied amount of active ingredient per hectare dose for most of the CE systems is done in a controlled manner and with the relevant technical recommendation.

**Keywords:** active ingredient, Rainforest Alliance, pest management, diseases, weeds.

\* Profesor Titular, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

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

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

\*\*\*\* Docente Investigadora, Universidad Católica de Manizales, Manizales, Colombia

Los agroquímicos son sustancias químicas utilizadas en sistemas de producción agrícola con diferentes fines: con acción fertilizante para mantener la calidad nutricional del suelo, con acción herbicida para controlar arvenses indeseables, y con acción insecticida, fungicida, nematocida y rodenticida entre otros, para controlar plagas y enfermedades. El presente estudio se centró en el análisis de los plaguicidas, los cuales se definen como cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir y controlar plagas y enfermedades, especies no deseadas de animales y plantas, que causan perjuicio o que interfieren en la producción, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas y productos de madera (22, 23). El término no incluye los agentes biológicos para el control de plagas y enfermedades, ya que precisamente el nombre de los plaguicidas hace referencia a la estructura química del ingrediente activo (i.a) y sus cantidades varían según el grado de eficacia del producto.

La identificación del uso y cantidad de plaguicidas usados en la producción de café se constituye en una opción importante para el direccionamiento de políticas sobre certificaciones ambientales, considerando que

uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la producción agrícola en la actualidad, es la disminución en el uso de productos agroquímicos y el desarrollo de alternativas más amigables con el medio ambiente para el manejo de plagas y enfermedades. En este sentido, las normas de certificación ambiental consideran entre sus requisitos reducir la dependencia de productos de síntesis química, debido a los impactos y externalidades negativas que éstos ocasionan sobre el ambiente y la salud pública.

Las certificaciones ambientales manifiestan si un producto o servicio está conforme con una normativa de gestión ambiental como ISO 14001, Reglamento 761/2001 EMAS de la Comisión Europea, Sistema Europeo de Ecogestión y Ecoauditoría, Norma de Agricultura Sostenible-NAS de la Red de Agricultura Sostenible-RAS, entre otras, a través de organismos de evaluación como por ejemplo Rainforest Alliance-RA<sup>1</sup> o UTZ Certified<sup>2</sup>, las cuales están recibiendo especial atención por su potencial para apoyar la sostenibilidad social, económica y ambiental, particularmente en las regiones cafeteras del mundo. En Colombia, las subcategorías de cafés sostenibles certificados<sup>3</sup> están definidas por la Federación Nacional de Cafeteros

---

<sup>1</sup> La certificación de Rainforest Alliance ofrece a las fincas y empresas relacionadas con actividades forestales y turísticas, una forma de diferenciar sus productos, promocionándolos como social, económica y ambientalmente sostenibles, tanto en los empaques como en otros materiales.

<sup>2</sup> UTZ Certified es uno de los programas de sostenibilidad más amplios para café, cacao y té del mundo. Un tercio del café que se comercializa de manera sostenible en el mundo está certificado por UTZ.

<sup>3</sup> Los cafés certificados son aquellos que cumplen con una serie de estándares definidos internacionalmente por agencias certificadoras. Dichas agencias son entidades independientes, generalmente establecidas en países de alto consumo de café, que establecen sus propios programas de verificación y cumplimiento de estándares. Para escoger el estándar que más le conviene a los productores de acuerdo con la oferta ambiental de sus regiones de producción con los volúmenes esperados de producción y con la demanda esperada del producto certificado, la Federación evalúa las diferentes opciones y sus costos. Posteriormente, con la activa participación de la Federación, se implementan las acciones necesarias para alcanzar los estándares de certificación elegidos, y favorecer la administración de los costos de certificación que demandan dichas agencias.

(FNC) así: Amigables con el medio ambiente, contenido social, café orgánico, "bueno por dentro" o "good inside". Además de los diferentes cafés certificados existen diferentes códigos de conducta definidos por entidades y clientes internacionales asociados con el café, dentro de ellos se destacan: Conservation International, Nespresso AAA, Café Practices, 4C, que se han convertido en una plataforma de sostenibilidad para los caficultores colombianos, debido a que sus prácticas facilitan el cumplimiento de estándares necesarios para acceder a diferentes mercados (11).

Rainforest Alliance evalúa principios fundamentales relacionados con sistemas de gestión social y ambiental, conservación de ecosistemas, protección de la vida silvestre, conservación de recursos hídricos, trato justo y buenas condiciones para los trabajadores, salud y seguridad ocupacional; así como las relaciones con la comunidad, manejo integrado del cultivo, manejo y conservación del suelo, y manejo integrado de desechos.

Actualmente, el mercado de agroquímicos es grande e importante, tanto en volumen como en recursos económicos aplicados; según registros del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA (17), para el año 2008, en Colombia se determinaron ventas de 10.738.425 kilogramos y de 26.407.121 litros. Durante el período 2000 a 2009 (20), la comercialización mundial creció a una tasa anual del 3,5% y los costos para encontrar un nuevo ingrediente activo para el mercado de la Unión Europea y los EE.UU, incluyendo descubrimiento y desarrollo, aumentó un 21,1%, al pasar de US\$152 millones (115 millones €) en 1995, a US\$184 millones (140 millones €) en el año 2000. Entre el año 2000 y el periodo 2005 a 2008, los costos aumentaron un 39,1%, equivalente a 189 millones € (20).

El control químico de arvenses, plagas y enfermedades en los cultivos forma parte de una herramienta complementaria en el manejo integrado de arvenses (MIA) y de plagas y enfermedades (MIPE), respectivamente, y su implementación está determinada básicamente por el nivel de daño, el ataque ocasionado y las condiciones específicas del cultivo. La mayoría de las normas de certificación socioambiental de fincas prohíben el uso de algunos productos químicos por los efectos negativos para el ambiente y la salud de las personas; éstas a su vez pretenden un uso más eficiente y racional de los plaguicidas. Tal es el caso de la Norma de Agricultura Sostenible (NAS), la cual dirige sus propósitos en la protección del trabajador y la conservación del medio ambiente en general.

Los plaguicidas se clasifican y etiquetan según su grado de toxicidad en cuatro categorías: Ia, sumamente peligrosa; Ib, muy peligrosa; II, moderadamente peligrosa; III y IV, ligeramente peligrosas. La NAS (24), a su vez, clasifica las fincas según el uso de estos insumos: de alto riesgo, aquellas que están al menos en una de las siguientes condiciones: a) se aplican plaguicidas de las clases OMS (Organización Mundial de la Salud) Ia, Ib y II; y b) La frecuencia de aplicación de plaguicidas es igual o mayor a dos por mes; como fincas de bajo uso de insumos están aquellas que cumplen las siguientes condiciones: a) Solamente se aplican agroquímicos de las clases OMS III y IV; y b) La frecuencia de aplicación de agroquímicos no excede una al mes.

La caficultura colombiana se ha visto afectada en los últimos años por altos índices de infección del hongo causante de la roya (*Hemileia vastatrix* Berk & Br) afectando especialmente variedades de café susceptibles como Caturra y Típica, y por ataques permanentes del insecto plaga conocido

como broca (*Hypothenemus hampei* Ferr.). Estos problemas son considerados como la enfermedad y la plaga más limitantes en la producción de café para el país; sin embargo, la producción diversificada de muchas fincas cafeteras ha incorporado sistemas asociados de cultivo, trayendo consigo otros tipos de problemas fitosanitarios que requieren de manejos específicos con agroquímicos. Productos químicos como el oxiclورو de cobre, óxido cuproso, hidróxido y sulfato de cobre son utilizados como fungicidas para el control preventivo de la roya del café; éstos ejercen un efecto protector inhibiendo la germinación del patógeno (25). De otro lado, los fungicidas sistémicos han mostrado un importante efecto sobre la enfermedad y consecuentemente sobre la producción, cuando se utilizan los del grupo de Azoles, cuyos ingredientes activos son cyproconazol, triadimefón y hexaconazol (19). Es así como la FNC plantea como propósito nacional para reducir el impacto de la roya, la siembra de variedades resistentes como la Variedad Castillo®, por el ahorro en los costos de producción, reducción en el uso de fungicidas y prevención de la contaminación y deterioro del medio ambiente y los seres humanos (10).

Dentro del manejo integrado de la broca del café en Colombia, el uso de insecticidas es una de las últimas opciones y su recomendación se da en función de la eficacia en el control del insecto; se ha verificado la validez de los insecticidas independiente de su formulación, ya que sólo son eficaces en el control de la broca cuando ésta se encuentra penetrando los frutos (5). Estudios realizados por Duque y Chaves (9) reportan que los insecticidas aplicados para el control de la broca son el endosulfán seguido por clorpirifos y fenitrothion.

Otra actividad de la caficultura que demanda el uso de agroquímicos es el MIA, el cual consiste en la combinación

oportuna y adecuada de diferentes prácticas que incluyen el manejo mecánico, químico, manual y biológico, con el fin de reducir la interferencia de las arvenses a niveles que no afecten el rendimiento de los cultivos, así como disminuir los costos de producción y reducción de la erosión (15). Para el control químico sobresale el uso de herbicidas cuyo i.a es el glifosato, 2, 4 D Amina, glufosinato de amonio y la combinación de ambos en el control de arvenses de las especies *Eleusine indica* (pategallina), *Erigeron bonariensis* (venadillo) y *Emilia sanchifolia* (emilia) (21). Investigaciones desarrolladas por Cenicafé han demostrado que el glifosato es el herbicida más eficiente para el manejo de arvenses en cafetales, debido a su alta persistencia y su eficacia, con niveles hasta del 90%; sin embargo, su uso generalizado y antitécnico puede ocasionar erosión, contaminación del ambiente, fitotoxicidad a los cultivos, toxicidad al hombre y resistencia de arvenses al mismo (1).

La asociación del cultivo de café con otros transitorios y perennes requiere de un manejo agronómico de éstos, independiente del café, que incluye la utilización de químicos para la fertilización y manejo de plagas y enfermedades (1). Entre los sistemas de producción de café en arreglos interespecíficos figuran aquellos con cultivos transitorios como el fríjol, maíz y tomate de mesa intercalados en siembras nuevas y zocas de café (1). Entre los semiperennes se destaca el plátano dominico hartón, banano y perennes como el aguacate y los cítricos, que sirven de sombra o están asociados a sistemas agroforestales.

Las certificaciones ambientales como RA indican cómo trabajar para mejorar las condiciones de la producción agrícola con un enfoque preventivo, en busca de la inocuidad, la competitividad, la seguridad de los trabajadores, la sostenibilidad de los

medios de vida y la conservación de la biodiversidad, y de esta manera reducir las amenazas al ambiente y a la salud humana, al prohibir el uso de plaguicidas peligrosos.

En Colombia el uso de agroquímicos es regulado a través de la Política Nacional de Producción más Limpia (1997), la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible (2010), las guías ambientales para el subsector de plaguicidas elaboradas por el Ministerio de Ambiente (23), y otras normas vigentes relacionadas con Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que contienen lineamientos de uso y manejo de los plaguicidas y gestión posconsumo de los envases de plaguicidas, en el marco de un desarrollo agropecuario sostenible, estableciendo que los agricultores deben usar, en la medida posible, controles mecánicos y biológicos, para reducir tanto la toxicidad como la cantidad de químicos empleados (23). Por su parte, las BPA determinan el buen manejo de productos agroquímicos, por lo cual su aplicación se restringe al cumplimiento de los siguientes requisitos (23):

- Emplear productos registrados ante el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario)
- Capacitar al personal para el buen uso de estos productos
- Verificar la calidad del agua empleada para las mezclas en cuanto a dureza y pH
- Seguir las recomendaciones de uso del fabricante del producto contenidas en la etiqueta, en cuanto a dosis, equipo de protección personal, plaga por controlar, frecuencia y período de carencia
- Aplicar en el momento del día más adecuado
- Registrar todas las aplicaciones en un formato
- Calibrar los equipos antes de cualquier aplicación
- Realizar triple lavado a los envases de productos químicos

- No contaminar el ambiente con los residuos de los productos químicos

Por lo anterior, este estudio busca determinar la cantidad usada de ingrediente activo de productos plaguicidas en fincas certificadas con el sello Rainforest Alliance y no certificadas, por año y por hectárea, como indicador del desempeño ambiental de las fincas certificadas, así como del grado de cumplimiento de la NAS para este aspecto ambiental y el uso de plaguicidas por parte de los caficultores no certificados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los departamentos de Cundinamarca y Santander, y para cada uno se seleccionaron 36 fincas certificadas (CE), que han implementado la norma de agricultura sostenible de Rainforest Alliance, por más de tres años. Por cada finca certificada se seleccionó una finca no certificada (NC), que cumpliera con características de similaridad, relacionadas con las siguientes variables: tipo de caficultura, rango altitudinal, tamaño de la finca y área en café. En este proceso de selección, se obtuvo un tamaño total de muestra de 144 fincas cafeteras, con 72 fincas por departamento, ubicadas y distribuidas así: Cundinamarca, región norte, en los municipios de Supatá, San Francisco, Guaduas, La Palma y Vergara; y Santander, región sur, municipios de Aratoca, Pinchote, Valle de San José, Socorro, Guavatá, Barbosa y Vélez.

El estudio fue específico de tipo exploratorio, con un diseño no experimental transversal, desarrollado a través de la toma de información con encuestas y entrevistas semiestructuradas, y el registro periódico de todas las actividades realizadas en la finca durante el año 2009. En ambos departamentos se realizó la clasificación de sistemas de producción, de acuerdo con la información obtenida en el campo,

mediante los siguientes criterios: Condición de certificación, CE (certificada) y NC (no certificada); condición de diversificación de la finca, diversificada y no diversificada (monocultivo de café), y origen de la mano de obra asignada al sistema, como familiar, contratada y mixta.

La combinación de los anteriores criterios para los registros de las fincas generó 24 sistemas de producción cafetera, de los cuales se seleccionaron 21 por su importancia relativa, relacionada al área de siembra ocupada (Tabla 1).

Las variables de interés consideradas dentro del estudio fueron: tipos o productos de plaguicidas usados, número de fincas certificadas y no certificadas que aplicaron plaguicidas, frecuencia de aplicación del producto durante el año 2009, cantidad de producto comercial aplicado por hectárea y cantidad de ingrediente activo aplicado por sistema de producción; a estas variables se les realizaron manejos de estadística descriptiva y complementos gráficos. Los registros, sobre cantidades aplicadas por insumo, se tomaron directamente en la finca cafetera, y la cantidad aplicada de ingrediente activo por hectárea se calculó estimando el total de i.a usado en gramos, y dividiéndolo entre el área asignada para café y otros cultivos; de igual manera, se estimó el número de aplicaciones realizadas al año del i.a para cada uno de los sistemas de producción.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Productos plaguicidas usados.** La verificación realizada a los caficultores sobre los productos usados arrojó como resultado la aplicación de nueve plaguicidas, de los cuales tres son de acción insecticida, cinco de acción fungicida y uno de acción herbicida (Tabla 2). Estos plaguicidas se clasificaron entre las categorías

toxicológicas definidas por la OMS, año 2008, como II - III y IV, y que en la actualidad se denominan Ib, II y III. El insecticida de i.a clorpirifos, usado para el control de la broca y los fungicidas de i.a triadimefón y oxiclورو de cobre usados para el manejo curativo y preventivo de la roya, se constituyen como los principales plaguicidas usados. La NAS establece como uno de los requisitos para evaluar su certificación, el bajo uso de insumos cuando la finca cumple con las siguientes condiciones: solamente se aplican plaguicidas de las clases OMS III y IV; la frecuencia de aplicación de agroquímicos no es mayor de una vez al mes y no se usa fumigación aérea o por spray boom.

**Número de fincas CE y NC que aplicaron agroquímicos.** En total, 132 fincas reportaron información sobre actividades o labores del cultivo de café, enfocando principalmente las relacionadas con la aplicación de plaguicidas; de ellas el 72% no aplicaron ningún producto químico y el 28% restante sí lo aplicaron. No obstante, la aplicación de plaguicidas varía de un año a otro, por estar sujeta a las condiciones fitosanitarias del cultivo y a condiciones económicas del productor; se evidencia una reducción en el porcentaje de caficultores que usan plaguicidas, con relación a un estudio realizado en el año 1999, el cual reporta que el 65% de los cultivadores aplicaron insecticidas, con una frecuencia promedio de tres veces por año (2). Es factible considerar que uno de los factores incidentales sobre el hecho anterior, sea la condición de certificación de fincas, en donde la NAS indica que no se deben aplicar sustancias nocivas para la salud, criterio que es considerado y acatado por la mayoría de las fincas evaluadas.

**Frecuencia de aplicación durante el ciclo anual.** Los ciclos de aplicación de los plaguicidas variaron entre una y cuatro

**Tabla 1.** Clasificación de los sistemas de producción cafeteros y modalidades evaluadas.

| Depto.    | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo de mano obra | Código de sistemas de producción | Códigos sistemas evaluados | Número de fincas del sistema de producción |
|-----------|----------------------------|---------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| C/marca   | Certificada                | Monocultivo   | Contratada        | CCEMMOC                          | -                          | 2                                          |
|           |                            |               | Familiar          | CCEMMOF                          | -                          | 1                                          |
|           |                            |               | Mixta             | CCEMMOM                          | -                          | 2                                          |
|           |                            | Diversificado | Contratada        | CCEDMOC                          | S1                         | 10                                         |
|           |                            |               | Familiar          | CCEDMOF                          | S2                         | 4                                          |
|           |                            |               | Mixta             | CCEDMOM                          | S3                         | 13                                         |
|           | No certificada             | Monocultivo   | Contratada        | -----                            | -                          | -                                          |
|           |                            |               | Familiar          | CNCMMOF                          | -                          | 1                                          |
|           |                            |               | Mixta             | CNCMMOM                          | -                          | 1                                          |
|           |                            | Diversificado | Contratada        | CNCDMOC                          | S4                         | 12                                         |
|           |                            |               | Familiar          | CNCDMOF                          | S5                         | 5                                          |
|           |                            |               | Mixta             | CNCDMOM                          | S6                         | 13                                         |
| Santander | Certificada                | Monocultivo   | Contratada        | SCEMMOC                          | S7                         | 2                                          |
|           |                            |               | Familiar          | -----                            | -                          | -                                          |
|           |                            |               | Mixta             | SCEMMOM                          | -                          | 1                                          |
|           |                            | Diversificado | Contratada        | SCEDMOC                          | S8                         | 7                                          |
|           |                            |               | Familiar          | SCEDMOF                          | -                          | 2                                          |
|           |                            |               | Mixta             | SCEDMOM                          | S9                         | 22                                         |
|           | No certificada             | Monocultivo   | Contratada        | SNCMMOC                          | S10                        | 1                                          |
|           |                            |               | Familiar          | -----                            | -                          | -                                          |
|           |                            |               | Mixta             | SNCMMOM                          | S11                        | 4                                          |
|           |                            | Diversificado | Contratada        | SNCDMOC                          | S12                        | 6                                          |
|           |                            |               | Familiar          | SNCDMOF                          | S13                        | 4                                          |
|           |                            |               | Mixta             | SNCDMOM                          | S14                        | 19                                         |

veces al año, sujetos al umbral de daño económico para el manejo de arvenses, plagas o enfermedades, y basados en niveles de infestación y propagación de las mismas. En la toma de la decisión sobre el uso del control químico y definir qué tipo de producto aplicar, es fundamental el conocimiento del ciclo de vida del insecto, patógeno o arvense, su relación con el estado fenológico del cultivo y las condiciones climáticas.

**Cantidad de ingrediente activo aplicado por hectárea.** A continuación se describen los ingredientes activos, cantidades aplicadas, y la comparación con las recomendaciones técnicas de dosificación del producto.

**a) Clorpirifos.** Insecticida usado para el manejo de la broca del cafeto cuya presentación comercial es concentrado emulsionable (EC); además se emplea para el control de la hormiga arriera (*Atta* sp.) en polvo dispersable (DP). La dosis de i.a recomendada por hectárea es 960 g en el caso del EC, y 750 g en DP (28). En la actualidad, el clorpirifos es el ingrediente activo sustituto de productos como el endosulfán, debido a la alta peligrosidad toxicológica y riesgos a la salud de las personas de este último (12).

Las mayores cantidades de ingrediente activo de clorpirifos por hectárea se aplicaron en el sistema S9 (Santander-certificado-

**Tabla 2.** Agroquímicos usados para el control de plagas y enfermedades, con algunas de sus características.

| Producto Comercial           | Ingrediente activo (i.a) | Clasificación toxicológica* | Modo de Acción | Cultivo      | Unidad i.a           | Concentración (g - L - kg) |
|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------|--------------|----------------------|----------------------------|
| Lorsban 4 EC                 | clorpirifos              | III (II)                    | Insecticida    | Café         | Gramos por litro     | 480                        |
| Lorsban 2,5%D.P              | clorpirifos              | III (II)                    | Insecticida    | Café y otros | Gramos por kilogramo | 25                         |
| Oxicloruro de cobre 58,8% WP | oxicloruro de cobre      | III (III)                   | Fungicida      | Café         | Gramos por kilogramo | 588                        |
| Bayleton EC 250              | triadimefón              | IV (III)                    | Fungicida      | Café         | Gramos por litro     | 250                        |
| Roundup SL                   | glifosato                | IV (III)                    | Herbicida      | Café y otros | Gramos por litro     | 360                        |
| Manzate 200 WP               | mancozeb                 | III (II)                    | Fungicida      | Café y otros | Gramos por kilogramo | 800                        |
| Fitoraz WP 76                | cymoxanil + propineb     | III (II)                    | Fungicida      | Café y otros | Gramos por kilogramo | 760                        |
| Score 250 EC                 | difenoconazol            | III (II)                    | Fungicida      | Café y otros | Gramos por litro     | 250                        |
| Roxion EC                    | dimetoato                | II (Ib)                     | Insecticida    | Café y otros | Gramos por litro     | 400                        |

\* Relaciona la clasificación según Vademécum 2008 y entre paréntesis la clasificación más reciente

diversificado-mano de obra mixta), con 1.360 g.ha<sup>-1</sup>, seguido de S14 (Santander-no certificado-diversificado-mano de obra mixta) con 1.131,4 g.ha<sup>-1</sup> (Tabla 3). Para el caso de los sistemas de producción evaluados, se encontró que la frecuencia de aplicación anual es de una vez, y que los productores integran otros métodos de manejo de la broca como el repase, el registro de la floración y la aplicación del hongo *Beauveria bassiana*. La utilización de insecticidas para el control de la broca en las fincas evaluadas, se lleva a cabo siempre y cuando se presenten altos niveles de infestación, y se aplica de forma focalizada.

Las recomendaciones de manejo integrado de la broca (MIB) por parte de la Federación de Cafeteros, complementarias al auge del desarrollo sostenible y otras estrategias asociadas a estos principios como las certificaciones ambientales y de cafés especiales,

han aportado a la disminución en la intensidad y cantidad de insecticidas utilizados en la agricultura; así lo demuestran diversos estudios sobre el MIB (9), cuyos resultados indican que más de dos aplicaciones no son justificables técnica ni económicamente.

**b) Oxicloruro de cobre.** Ingrediente activo recomendado para el manejo de la roya del cafeto, se trata de un fungicida protector que inhibe la germinación del patógeno bajo condiciones de manejo preventivo de la enfermedad, se recomienda una dosis de 2.940 g.ha<sup>-1</sup> del i.a (26); de este tipo de fungicidas los cúpricos son los más utilizados (14).

En algunos sistemas no certificados de ambos departamentos se encontraron las mayores cantidades promedio de producto aplicado, en relación con la dosis recomendada. El sistema S10 (Santander, no certificado, monocultivo, mano de obra contratada)

superó la dosis recomendada con 4.859,5 g.ha<sup>-1</sup>, seguido del S4 (Cundinamarca, no certificado, diversificado, mano de obra contratada) que aplicó 3.740,3 g.ha<sup>-1</sup> (Tabla 4). Las aplicaciones del oxiclورو de cobre se realizaron en lotes específicos de la finca sembrados con variedades susceptibles a la roya del café.

Investigaciones bajo condiciones de laboratorio determinaron la toxicidad de altas concentraciones de este fungicida

sobre dos especies consideradas indicadoras de biodiversidad del suelo, la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) al afectar su tasa reproductiva (16) y el caracol común (*Helix aspersa*), el cual sufre alteraciones en su aparato digestivo (26).

**c) Triadimefón.** Clasificado dentro de los fungicidas sistémicos, los cuales han demostrado un importante efecto sobre la roya del café, destacando los del grupo de los triasoles aplicados al follaje (14). La

**Tabla 3.** Cantidad del ingrediente activo clorpirifos aplicado por hectárea, en sistemas certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander.

| Depto.       | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo mano de obra | Código del sistema | Número de fincas del sistema de producción | i.a aplicado (g.L <sup>-1</sup> ) |
|--------------|----------------------------|---------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| Cundinamarca | Certificada                | Diversificado | Contratada        | S1                 | 10                                         | 202,96                            |
|              |                            |               | Familiar          | S2                 | 4                                          | 294,03                            |
|              | No certificada             | Diversificado | Contratada        | S4                 | 12                                         | 538,82                            |
|              |                            |               | Familiar          | S5                 | 5                                          | 225,11                            |
| Santander    | Certificada                | Diversificado | Contratada        | S8                 | 7                                          | 451,92                            |
|              |                            |               | Mixta             | S9                 | 22                                         | 1.360,00                          |
|              | No certificada             | Monocultivo   | Contratada        | S10                | 1                                          | 412,68                            |
|              |                            | Diversificado | Mixta             | S14                | 19                                         | 1.131,43                          |

**Tabla 4.** Cantidad del ingrediente activo oxiclورو de cobre aplicado por hectárea, en sistemas certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander.

| Depto.    | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo mano de obra | Código del sistema | Número de fincas del sistema de producción | i.a aplicado (g.kg) |
|-----------|----------------------------|---------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| C/marca   | Certificada                | Diversificado | Contratada        | S1                 | 10                                         | 2.320,51            |
|           |                            |               | Mixta             | S3                 | 4                                          | 1.632,90            |
|           |                            |               | Contratada        | S4                 | 12                                         | 3.740,32            |
|           | No certificada             | Diversificado | Familiar          | S5                 | 5                                          | 1.103,03            |
|           |                            |               | Mixta             | S6                 | 13                                         | 138,40              |
|           |                            |               | Contratada        | S8                 | 7                                          | 211,51              |
| Santander | Certificada                | Diversificado | Mixta             | S9                 | 22                                         | 196,00              |
|           |                            |               | Contratada        | S10                | 1                                          | 4.859,50            |
|           | No certificada             | Monocultivo   | Contratada        | S10                | 1                                          | 4.859,50            |
|           |                            | Diversificado | Mixta             | S11                | 4                                          | 270,97              |
|           |                            |               | Mixta             | S14                | 19                                         | 252,00              |

dosis de estos fungicidas varía entre 250 mL y 1 L, esta última dosis para el caso del triadimefón (25). La recomendación técnica del i.a corresponde a 187,5 g.ha<sup>-1</sup> (28). Únicamente el sistema S4 (Cundinamarca, no certificado, diversificado, mano de obra contratada) excedió ampliamente la dosis recomendada, al aplicar en promedio 586,7 g.ha<sup>-1</sup>, adicional a lo anterior, un sólo sistema S8 (Santander, certificado, diversificado, mano de obra contratada), reportó aplicación de este i.a en dosis promedio de 138,4 g.ha<sup>-1</sup>; una explicación al uso de este i.a es la evidencia de cultivos de café sembrados con variedades susceptibles a la roya del cafeto, y en algunos casos se evidenció la falta de manejo para el control de esta enfermedad, debido principalmente a razones económicas del productor. Una estrategia validada para la reducción en el uso de fungicidas es la renovación por siembra con variedades resistentes a este hongo, como es el caso de la Variedad Castillo® y las Variedades Castillo® Regionales.

**d) Glifosato.** Los herbicidas más comercializados en Colombia incorporan en su composición química el glifosato, por lo tanto, se constituye en uno de los i.a más usados para el control de arvenses en las zonas cafeteras. A su vez forma parte de los métodos de control más eficientes que

existen si forman parte del MIA, pero un uso inadecuado y prolongado en el tiempo de dicho compuesto, puede convertirse en causal de resistencia por parte de algunas arvenses agresivas presentes en las plantaciones de café (21).

La cantidad recomendada de este i.a es 720 g.ha<sup>-1</sup> (28), sin embargo, es común que los productores sobrepasen la dosis recomendada, ya que consideran que altas dosis son más eficaces; tal caso se encontró en tres de los cuatro sistemas, en los que se aplicó este i.a (Tabla 5). Es de anotar que la aplicación de glifosato en muchas de las fincas se hace de forma localizada, atacando solamente arvenses agresivas como gramíneas. Una de las razones indicadas por los caficultores para el uso del control químico de arvenses es la escasez de mano de obra.

Todo producto pesticida contiene, además del ingrediente activo, otras sustancias cuya función es facilitar su manejo o aumentar su eficacia. En general, estos ingredientes, falsamente denominados "inertes", no son especificados en las etiquetas del producto. En el caso de los herbicidas con glifosato, se han identificado muchos ingredientes "inertes" para ayudar al glifosato a penetrar los tejidos de la planta; a su vez, la mayoría de sus fórmulas comerciales incluyen una sustancia química surfactante (18).

**Tabla 5.** Cantidad de ingrediente activo glifosato aplicado por hectárea, en sistemas certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander.

| Depto.    | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo mano de obra | Código del sistema | Número de fincas del sistema de producción | i.a aplicado (g.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------------------|---------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| C/marca   | Certificada                | Diversificado | Contratada        | S1                 | 10                                         | 745,88                            |
|           |                            |               | Mixta             | S3                 | 4                                          | 816,45                            |
|           | No certificada             | Diversificado | Mixta             | S6                 | 13                                         | 551,52                            |
| Santander | No certificada             | Diversificado | Contratada        | S12                | 6                                          | 951,58                            |

La Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos (EPA) reclasificó como clase II, altamente tóxicos, los plaguicidas que contienen glifosato, por ser irritante para los ojos. La Organización Mundial de la Salud describe efectos más serios en varios estudios con conejos, calificándolos como "fuertemente" o "extremadamente" irritantes. Otros estudios han determinado que el uso continuo de glifosato para el control de las arvenses reduce la capacidad reproductiva de controladores biológicos, caso de *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae) (26).

**e) Mancozeb.** La cantidad de i.a recomendada de 320 g.ha<sup>-1</sup> (28), es básicamente empleada para el manejo de enfermedades en el cultivo del tomate en asocio con café, con aplicaciones hasta de 18 veces por año, para una producción anual de tres ciclos del cultivo. Estudios de toxicidad indican que este i.a es catalogado como extremadamente tóxico a *Bacillus subtilis*, bacteria gram positiva, Catalasa-positiva, aerobio facultativo comúnmente encontrada en el suelo (3).

Se registró que en cuatro de los cinco sistemas que aplicaron el ingrediente activo mancozeb, superaron la dosis recomendada

(Tabla 6), en aplicaciones promedio, que en algunos casos alcanzaron a triplicar la cantidad recomendada; como el caso de los sistemas S4 y S5 con aplicaciones respectivas de 1.005,1 g.ha<sup>-1</sup> y 990,1 g.ha<sup>-1</sup>. En los sistemas certificados no se reportó la utilización de este i.a (Tabla 6). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en asocio con especialistas de la industria química, desarrollaron los fungicidas protectores o preventivos de síntesis, principalmente a base de bisditiocarbamatos, conocidos como naban, thiram y zineb, y posteriormente el maneb y el mancozeb, este último uno de los fungicidas protectores más utilizados a nivel mundial (7).

Los sistemas de producción no certificados que aplicaron el ingrediente activo mancozeb, lo hicieron para el manejo preventivo de la enfermedad conocida con el nombre de tizón tardío (*Phytophthora infestans*), en las plantaciones de tomate asociadas con café renovado por siembra nueva o por zoca. Actualmente en Colombia los productos químicos de mayor uso se aplican en rotaciones de fungicidas protectores que tienen como i.a mancozeb (etilen-bisditiocarbamato de manganeso + cinc) y sistémicos a base metalaxyl y fosetyl-Al (6).

**Tabla 6.** Cantidad de ingrediente activo mancozeb aplicado por hectárea, en sistemas certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander.

| Depto.    | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo mano obra | Código del sistema | Número de fincas del sistema de producción | i.a aplicado (g.kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|
| C/marca   | No certificada             | Diversificado | Contratada     | S4                 | 12                                         | 990,08                             |
|           |                            |               | Familiar       | S5                 | 5                                          | 1.005,13                           |
|           |                            |               | Mixta          | S6                 | 13                                         | 687,72                             |
| Santander | No certificada             | Diversificado | Contratada     | S12                | 6                                          | 475,79                             |
|           |                            | Diversificado | Mixta          | S14                | 19                                         | 279,13                             |

**f) Dimetoato.** Este i.a fue incluido en la categoría toxicológica II, considerado como extremadamente tóxico, según la última clasificación de la OMS. El dimetoato es un insecticida para el control de áfidos, mosca blanca, chinches y ácaros, en plantaciones de aguacate y cítricos. La dosis técnica es 200 g.ha<sup>-1</sup> (28). Los productores que aplican este i.a siempre exceden en promedio la cantidad recomendada; en el presente estudio se encontró un sistema que aplica más del doble, el de S6 (Cundinamarca, no certificado, diversificado, mano de obra mixta), y sólo uno de los cinco sistemas que utilizaron este producto es certificado (CE) (Tabla 7).

Al evaluar la contaminación por dimetoato, para determinar el uso potencial de biomarcadores con dos especies de quironómidos, se encontró que la pulga de agua (*Chironomus riparius*) es más sensible al dimetoato, y que su uso como bioindicador potencial en el campo puede medir los índices de contaminación de algunos compuestos órgano fosforados (8). Otro estudio comparativo de los signos de intoxicación y cambios en los niveles de actividad de *Agelaius phoeniceus* (turpial sargento), expuesto al dimetoato, estableció que tal plaguicida causa alteraciones en sus actividades y respuestas fisiológicas al

ambiente (4). Los anteriores resultados alertan sobre la peligrosidad de este i.a en algunas poblaciones de aves e insectos presentes en los ecosistemas cafeteros.

**g) Otros plaguicidas usados con menor frecuencia.** Cymoxanil, propineb y difenoconazol. Los fungicidas referenciados son usados para el control de enfermedades en tomate de mesa; la formulación recomendada es de 1.140 g.ha<sup>-1</sup> (28) para la combinación de cymoxanil + propineb, mezcla aplicada en los sistemas S3 y S8 sin exceder la dosis recomendada, 720,37 y 551,52 g.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. De difecononazol se recomienda aplicar 75 g.ha<sup>-1</sup> (28), registrado para los sistemas S1 y S8, con cantidades superiores a las recomendadas (199,04 y 227,96 g.ha<sup>-1</sup> para cada sistema, respectivamente).

**Niveles de aplicación de ingrediente activo por sistema de producción.** En la Tabla 8 se presentan las cantidades totales de i.a de los diferentes productos aplicados. El sistema S1 es el único certificado que presenta valores altos de i.a aplicado por hectárea. La falta de regulación en el uso de plaguicidas revela que los sistemas no certificados de Cundinamarca S4, S5 y S6 y Santander S10 y S11 registraron valores promedios de aplicación de i.a por hectárea

**Tabla 7.** Cantidad del ingrediente activo dimetoato aplicado por hectárea, en sistemas certificados y no certificados de Cundinamarca y Santander

| Depto.    | Condición de certificación | Diversidad    | Tipo mano obra | Código del sistema | Número de fincas del sistema de producción | i.a aplicado (g.L <sup>-1</sup> ) |
|-----------|----------------------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| C/marca   | Certificada                | Diversificado | Mixta          | S3                 | 4                                          | 204,11                            |
|           | No certificada             | Diversificado | Contratada     | S4                 | 12                                         | 220,02                            |
|           | No certificada             | Diversificado | Mixta          | S6                 | 13                                         | 490,00                            |
| Santander | No certificada             | Diversificado | Contratada     | S12                | 6                                          | 237,90                            |
|           | No certificada             | Diversificado | Familiar       | S13                | 4                                          | 282,24                            |

**Tabla 8.** Niveles de aplicación de ingrediente activo por hectárea en los sistemas de producción de café certificados y no certificados en Cundinamarca y Santander.

| Clasificación<br>Sistemas | Sistema de<br>producción | Código<br>del<br>sistema | Fincas<br>por<br>sistema | Fincas que<br>no aplicaron<br>agroquímicos | Promedio<br>g.ha <sup>-1</sup> i.a<br>(todas las<br>fincas) | Promedio<br>g.ha <sup>-1</sup> i.a<br>(Para<br>fincas que<br>aplicaron) | Promedio<br>de i.a por<br>hectárea |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Certificados              | CCEDMOC                  | S1                       | 10                       | 5                                          | 787,6                                                       | 1.294,91                                                                | 542,66                             |
|                           | CCEDMOF                  | S2                       | 4                        | 3                                          | 125,5                                                       | 501,82                                                                  |                                    |
|                           | CCEDMOM                  | S3                       | 13                       | 10                                         | 162,4                                                       | 703,75                                                                  |                                    |
|                           | SCEDMOC                  | S7                       | 7                        | 6                                          | 55,3                                                        | 387,00                                                                  |                                    |
| No<br>Certificados        | SCEDMOM                  | S8                       | 22                       | 14                                         | 110                                                         | 267,98                                                                  | 1.601,32                           |
|                           | SCEMMOC                  | S9                       | 2                        | 1                                          | 50,3                                                        | 100,51                                                                  |                                    |
|                           | CNCDMOC                  | S4                       | 12                       | 10                                         | 499,6                                                       | 1.910,06                                                                |                                    |

superiores a los sistemas certificados (Tabla 8). Investigaciones desarrolladas en fincas productoras de papa, indican que la aplicación de fungicidas carbamatos por hectárea, ascienden en promedio a los 6,88 kg, y las cantidades de insecticidas órganofosforados a 0,79 kg.ha de i.a. (12); lo anterior muestra que la aplicación de plaguicidas en el cultivo de café y sus asociados representan un bajo nivel frente a los reportes de otros cultivos.

En la Tabla 8 se destaca que el promedio de aplicación de i.a de fotoquímicos supera, en el caso de sistemas de producción cafeteros No Certificados, en casi tres veces la cantidad aplicada en Sistemas Certificados, lo que corrobora los impactos favorables de la condición de certificación RA, con relación a un manejo agronómico más técnico y sostenible.

En este estudio se concluye que:

La aplicación de plaguicidas en sistemas de producción de fincas certificadas cumple con las normas de certificación, debido a que

no se incluyen plaguicidas prohibidos por las agencias internacionales, que regulan este tipo de químicos en la protección de cultivos. Adicionalmente, la cantidad aplicada de ingrediente activo en dosis por hectárea para la mayoría de los sistemas certificados se realiza de forma controlada y bajo las recomendaciones técnicas pertinentes.

Los sistemas no certificados carecen de programas de regulación y capacitación en la aplicación de productos plaguicidas, ya que aplican cantidades de ingrediente activo superiores a la recomendación técnica del producto comercial por hectárea.

Es necesario realizar una evaluación integral del manejo y uso de plaguicidas en la caficultura certificada y no certificada, que considere aspectos sociales, tecnológicos y financieros del sistema productivo, tales como protección de trabajadores, métodos de aplicación, rotación de productos, transporte, tiempos de aplicación, cantidad de ingrediente activo usado por hectárea y costos de producción, asociando estos resultados con

los factores ambientales (agua, suelo, aire, biodiversidad) para determinar los posibles impactos y externalidades ocasionadas por el uso de este tipo de insumos.

De los 21 sistemas de producción caracterizados, siete sistemas, no aplicaron plaguicidas, resaltando entre ellos cinco sistemas certificados RA; se concluye de lo anterior, que la sostenibilidad económica, social y ambiental se constituye en el reto principal de la agricultura moderna, y se hace importante hacer una amplia revisión de la situación del uso y abuso de productos plaguicidas de síntesis química, identificando en fincas de producción cafetera la forma de manejo y uso de éstos.

**Nota:** El uso de nombres comerciales en esta publicación tiene como propósito facilitar su identificación y en ningún momento constituyen su promoción.

## 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 Gualiva (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. ARCILA P., J.; FÁRFAN V., F.; MORENO B., A. M.; SALAZAR G., L. F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 309 p.
2. BAKER, P. La broca del café en Colombia: Informe final del proyecto MIP para el café DFID. Chinchiná : CENICAFÉ : CABI Bioscience, 1999. 154 p.

3. BENITEZ C., N.; VIVAS Z., D.H.; [et al.]. Toxicidad de los principales plaguicidas utilizados en el municipio de Popayán, usando *Bacillus subtilis*. Biotecnología 7(1):16-22. 2009.
4. BRUNET R.; GIRARD C.; CYR A. Comparative study of the signs of intoxication and changes in activity level of red-winged blackbirds (*Agelaius phoeniceus*) exposed to dimethoate. Agriculture, ecosystems and environment 64(3): 201-209. 1997.
5. BUSTILLO P., A. E. El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia. 2a. ed. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 40 p.
6. CARREÑON, VARGASA, BERNAL J. A.; RESTREPO S. Problemas fitopatológicos en especies de la familia solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia: Una revisión. Agronomía de Colombia. 25(2):320-329. 2007.
7. CROPLIFE Latin America. Tierra fértil. Miami : CropLife internacional, 2007. 16 p. (Boletín informativo No. 30).
8. DOMÍNGUEZ Y.; GUILLERMINA L.; SOARES A.; NOGUEIRA A. Assessing dimethoate contamination in temperate and tropical climates: Potential use of biomarkers in bioassays with two chironomid species. Chemosphere 69(1):145-154. 2007.
9. DUQUE O., H.; CHÁVES C., B. Estudio sobre adopción del manejo integrado de la broca del café. Chinchiná: CENICAFÉ, 2000. 100 p.
10. FNC. Recuperación de la producción: Un propósito nacional "Colombia sin Roya". [En línea]. Bogotá: FNC, [2010]. Disponible en internet: [http://www.federaciondecafeteros.org/caficultores/es/programas\\_para/plan\\_de\\_choque/](http://www.federaciondecafeteros.org/caficultores/es/programas_para/plan_de_choque/). Consultado el 6 de Diciembre de 2012
11. -----, Nuestrs cafés especiales. [En línea]. Bogotá : FNC, [2012]. Disponible en internet: [http://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestra\\_propuesta\\_de\\_valor/portafolio\\_de\\_productos/nuestro\\_cafe\\_especial/](http://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestra_propuesta_de_valor/portafolio_de_productos/nuestro_cafe_especial/). Consultado el 25 de mayo de 2012.
12. EPA. Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos. [En línea]. Washington : EPA, [2010]. Disponible en internet: <http://www.epa.gov/pesticides/reregistration/endosulfan/endosulfan-agreement.html>. Consultado el 3 de febrero de 2012.

13. FEOLA, G.; BINDER, C. Identifying and investigating pesticide application to promote a more sustainable pesticide use: The case of smallholders in Boyacá, Colombia. *Crop protection* 29(6):612-622. 2010.
14. GIL V., L. F.; CASTRO C., B. L.; CADENA G., G. El estudio de las enfermedades del café en Colombia. Chinchiná: CENICAFÉ, 2003. 224 p.
15. GÓMEZ H., E.; SALAZAR G., L.F. Manejo integrado de arvenses en la zona cafetera central de Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 12 p. (Avances Técnicos No. 359).
16. HELLING B.; REINECKE S. A.; REINECKE A. J. Effects of the fungicide copper oxychloride on the growth and reproduction of *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Ecotoxicology and environmental safety*. 46(1):108-116. 2000.
17. ICA. Boletín de estadísticas de comercialización de plaguicidas 2008. Bogotá : ICA, 2009. 104 p.
18. KACZEWER, J. Toxicología del glifosato: Riesgo para la salud humana. Buenos Aires : Universidad Nacional, 2002. 7 p.
19. LEGUIZAMÓN C., J.E. Control químico de la roya del café *Hemileia vastatrix* Berk y Br. con fungicidas sistémicos aplicados al suelo y al follaje. P.88-98. En: CENICAFÉ. Informe anual de labores 1993 - 1994. Chinchiná : CENICAFÉ, 1994. 102 p.
20. MCDUGALL, P. The cost of new agrochemical product discovery, development and registration in 1995, 2000 and 2005-8. United Kingdom: RSD Study, January 2010. 32 p.
21. MENZA F., H.D.; SALAZAR G., L.F. Estudios de resistencia al glifosato en tres arvenses de la zona central cafetera y alternativas de su manejo. Chinchiná: CENICAFÉ, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 350).
22. COLOMBIA. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Guías ambientales para el subsector de plaguicidas. Bogotá : Produmedios, 2003. 20 p.
23. PNUMA. Programa ambiental del Caribe. Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia. [En línea]. Bogotá: ANDI, [2012]. Disponible en internet: (<http://cep.unep.org/repicar/capacitacion-y-concienciacion/andi/publicaciones-andi/Guia%20ambiental%20plaguicidas.pdf>). Consultado en marzo de 2012.
24. RAINFOREST Alliance. Agricultura sostenible, la certificación RA significa. [En línea]. New York: RA, 2010. Disponible en internet: ([http://www.rainforest-alliance.org/agriculture\\_spanish.cfm?id=main](http://www.rainforest-alliance.org/agriculture_spanish.cfm?id=main)), Consultado en noviembre de 2010.
25. RIVILLAS O., C.A.; SERNA G., C.A.; CRISTANCHO A., M.A.; GAITÁN B., A.L. La Roya del café en Colombia: Impacto, manejo y costos del control. Chinchiná : CENICAFÉ, 2011. 51 p. (Boletín Técnico No. 36).
26. SCHNEIDER M. I.; SÁNCHEZ N.; PINEDAS.; CHIH.; RONCOA. Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of *Chrysoperla externa* (Neuroptera: Chrysopidae): Ecological approach. *Chemosphere* 76(10):1451-1455. 2009.
27. SNYMAN R. G.; REINECKE A. J.; REINECKE S. Quantitative changes in the digestive gland cells of the snail *Helix aspersa* after exposure to the fungicide copper oxychloride. *Ecotoxicology and environmental safety* 60(1):47-52. 2005.
28. VADEMÉCUM HC. Diccionario agrícola. 17a. ed. Bogotá : Ediciones HC, 2008. 679 p.

# EVALUACIÓN DE UN MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN DE CAFÉ EN TERRENOS DE ALTA PENDIENTE

Jhon Alexander Castañeda-Beltrán\*, Esther Cecilia Montoya-Restrepo\*\*,  
Carlos Eugenio Oliveros-Tascón\*, Juan Carlos Vélez-Zape\*\*

---

## RESUMEN

**CASTAÑEDA B., J.A.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E.; VÉLEZ Z., J.C. Evaluación de un método para la recolección de café en terrenos de alta pendiente. Revista Cenicafe 62(1):32-47.2011**

Se evaluó un método para recolectar café en terrenos con pendiente superior al 70%, en el cual se utilizan el método mejorado de recolección propuesto por Vélez *et al.* y recomendaciones para los desplazamientos a través de la pendiente del terreno. La investigación se desarrolló en tres etapas. En la primera, se caracterizaron física y operativamente nueve operarios, escogiendo seis que presentaron condiciones físicas similares y componentes del cuadro hemático en rango normal. En la segunda etapa, se capacitaron los recolectores en la ejecución del método mejorado de recolección. En la tercera etapa se evaluó el método en cafetales de variedad Colombia, con pendientes superiores al 70%. En términos generales, se observó que los operarios no mejoraron los indicadores de la recolección de café, eficiencia, calidad, eficacia y pérdidas, con la aplicación del método propuesto en esta investigación.

**Palabras clave:** Cosecha manual, eficiencia, calidad, eficacia, pérdidas.

---

## ABSTRACT

A method for collecting coffee on slopes exceeding 70%, which are used in the proposed improved collecting method proposed by Velez *et al.* and recommendations for displacement through terrain slope were evaluated. The research was conducted in three stages. In the first one, physically and operationally nine operators were characterized, choosing six that had similar physical conditions and components of the blood characteristics within a normal range. In the second stage, the collectors were trained in the implementation of the improved collection method. In the third stage, the method was evaluated in coffee plantations with coffee trees of Colombia variety, with slopes greater than 70%. Overall, it was noted that the operators did not improve the indicators of coffee harvesting, efficiency, quality, efficacy and losses with the application of the proposed method in this research.

**Keywords:** Hand picking, efficiency, quality, efficiency, losses.

---

\* Investigador Asociado (hasta el 31 de enero de 2004) e Investigador Principal, Ingeniería Agrícola, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe.

\*\* Investigador Científico III e Investigador Asociado (hasta el 2005), respectivamente. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Manizales, Caldas, Colombia.

En Colombia, la recolección y el beneficio del café representan el 51,3% de los costos totales de producción, seguidos por los costos de fertilización, que representan el 16,8%. Por esta razón en el Centro Nacional de Investigaciones de Café se realizan investigaciones con el fin de desarrollar tecnologías para la recolección, que permitan mejorar los indicadores del proceso, la rentabilidad del negocio cafetero y, por consiguiente, la competitividad del café Colombiano (3, 4, 5, 6, 9, 10, 12).

La cosecha de café en Colombia se realiza en forma manual, en 16 a 18 pases al año, en la región central cafetera. En cada pase, la oferta de frutos maduros varía desde menos de 100 g/árbol hasta 800 – 1.000 g/árbol en los días de mayor flujo de cosecha (10). El rendimiento de un recolector es afectado por varios factores, entre ellos la oferta de frutos maduros al momento del pase (10) y la altura de los árboles (14).

Vélez *et al.* (13) utilizaron la metodología de tiempos y movimientos propuesta por Barnes (1), para identificar las micro y macro actividades realizadas en la cosecha manual de café en Colombia, los tiempos empleados en éstas en una jornada de trabajo y los ciclos utilizados por los recolectores de café para desprender los frutos maduros. A partir de los resultados obtenidos proponen un método de recolección de cuatro microtarefas o *therbligs*, con recomendaciones para desplazarse a través del surco, del árbol, de las ramas, movimientos de las manos y posturas. En una primera evaluación del método los autores observaron disminución en el tiempo de cosecha por árbol de 36,8% y 21,2%, con carga de frutos maduros inferior a 0,5 kg/árbol y de 0,5 a 1,0 kg/árbol, respectivamente.

Montoya (8) evaluó el método mejorado propuesto por Vélez *et al.* (13), con cuatro

operarias previamente entrenadas en su aplicación, en terrenos con pendiente de 0% a 10% y 70% a 80%. Para la pendiente del 0% al 10% se trabajó en un lote con zoca de segunda cosecha y con pendiente del 70% al 80% en un lote con zoca de quinta cosecha. Se observó mayor rendimiento en el lote con pendiente de 0% a 10% (100 kg/jornada), que en la plantación con pendiente del 70% al 80% (56 a 87 kg/jornada). Las diferencias observadas en rendimiento pueden atribuirse también a otros factores, entre ellos la edad del cultivo, dado que en lotes con árboles de cinco años se dificulta la recolección de café por métodos tradicionales y con aplicación el método mejorado.

Martínez (7), en una investigación sobre la cosecha manual tradicional del café en plantaciones en terrenos con pendiente superior al 75%, en cafetales con edades entre 2 y 6 años, identificó y cuantificó las actividades que conforman el sistema operativo, los movimientos realizados en el lote, el surco, a través del dosel de los árboles, en las ramas y de las manos. Los análisis mostraron diferencias entre fincas, para el porcentaje de tiempo invertido en las actividades operativas y de espera. Se observó que los recolectores se desplazan en los lotes siguiendo las curvas de nivel, descendiendo por la pendiente; en las ramas se desplazan principalmente del tronco hacia fuera, utilizando ciclos de desprendimiento de frutos compuestos por cinco a seis *therbligs*.

Villegas *et al.* (15) evaluaron el efecto de la altura de la plantación de café en el desempeño operativo de los recolectores en lotes sembrados con variedades Colombia y Caturra, con edades entre 2 y 5 años, en pendientes inferiores al 70%, utilizando el método mejorado propuesto por Vélez *et al.* (13) y el método tradicional de recolección de café. Se observó aumento de la eficiencia operativa de los recolectores, entre el 44,3%

y el 187,4%, utilizando el método mejorado, disminución de los frutos verdes en la masa cosechada y efecto de la altura de las plantas en el desempeño de los recolectores en la eficiencia operativa.

En esta investigación se evaluó un método de recolección de café en terrenos con pendiente superior al 70%.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método de recolección evaluado considera el propuesto por Vélez *et al.* (13), con recomendaciones para el desplazamiento a través de la pendiente del terreno, como se describe a continuación, desde el movimiento en el lote hasta el movimiento de las manos.

**Movimiento en el lote:** Los operarios se desplazaron en el lote de arriba hacia bajo, como se indica en las Figuras 1, 2 y 3, dependiendo del punto de acopio o la salida.

**Movimiento en el surco:** Los operarios se desplazaron en curvas de nivel y por caras internas, regresando por el siguiente surco.

**Movimiento en el árbol:** Los operarios desprendieron los frutos del árbol de arriba hacia abajo en zigzag, finalizando con la recolección de los frutos dejados en el suelo.

**Movimiento en las ramas:** Los operarios tomaron las ramas del tronco hacia afuera.

**Movimientos de las manos:** Los operarios realizaron el desprendimiento manual de los frutos con ciclos de cuatro *therbligs*: Transportar vacío y buscar TvB, Sostener So, Arrancar Ar y Dejar carga Dc, para lo cual se adhirieron dispositivos en forma de lengüeta a los recipientes plásticos de recolección (13).

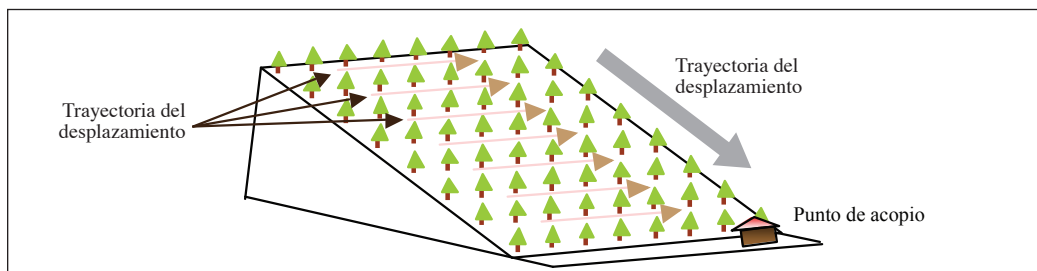
La evaluación de este método de recolección de café se desarrolló en la finca La Guaira, ubicada en la zona rural del municipio de Chinchiná (Caldas), a 1.350 m.s.n.m. (4°59' LN; 75°40' LO), en lotes sembrados con café variedad Colombia, con pendientes superiores al 70%.

Para cumplir con el objetivo de evaluar el método propuesto, la investigación se desarrolló en tres fases correspondientes a: selección del personal, capacitación de los mismos y evaluación del método en el campo.

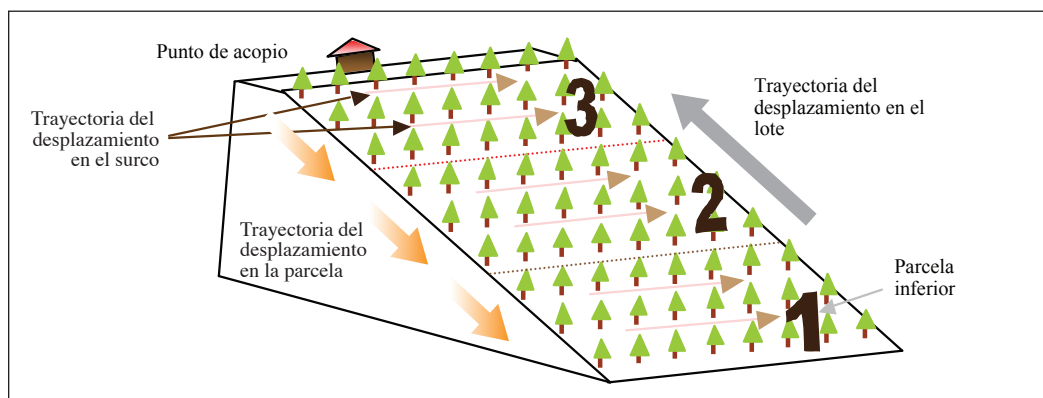
**Fase 1. Selección del personal.** En esta fase se convocaron nueve recolectores, a los cuales se les realizaron las siguientes pruebas operativas y de aptitud física.

En las pruebas operativas, a cada recolector se le evaluó el desempeño operativo en la ejecución del método tradicional de recolección, a través de los indicadores de eficiencia, eficacia, pérdidas y calidad, durante cinco jornadas. La unidad de trabajo estuvo conformada por el número de árboles recolectados en una jornada, la cual dependía de la oferta de frutos maduros que tenían los árboles del lote asignado. La oferta se determinó el día anterior a la recolección, obteniendo la carga de frutos maduros promedio por árbol, en diez árboles seleccionados aleatoriamente. Además, el mismo día se limpió el plato de los árboles.

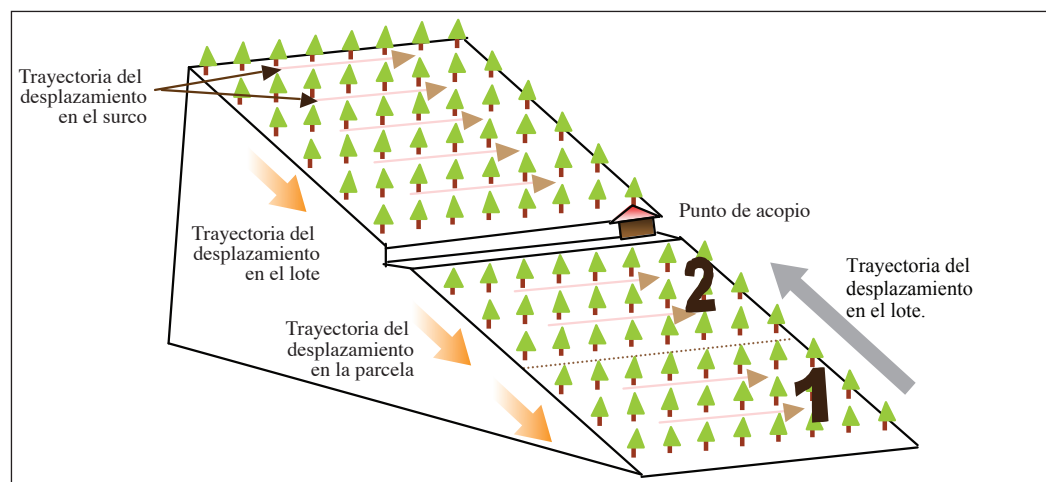
En cada jornada de trabajo se registró la siguiente información: kilogramos de café recolectados, número de plantas recolectadas por operario por jornada, duración de la jornada, número de frutos maduros dejados en el árbol, número de frutos maduros, verdes y pintones dejados en el suelo en diez árboles del lote tomados aleatoriamente, después del proceso de recolección, y gramos de frutos verdes en la masa cosechada en tres muestras de un kilogramo, tomadas en diferentes momentos de la jornada.



**Figura 1.** Desplazamiento sugerido en el lote cuando el punto de acopio o la salida están ubicados en la parte inferior del mismo (caso 1).



**Figura 2.** Desplazamiento sugerido en el lote, cuando el punto de acopio o la salida están ubicados en la parte superior del mismo (caso 2).



**Figura 3.** Desplazamiento sugerido en el lote, cuando el punto de acopio o la salida están ubicados en la parte media del mismo (caso 3).

Con esta información, se generaron las variables asociadas a los indicadores de la labor así: kilogramos de café recolectado por unidad de tiempo, asociada al indicador de Eficiencia; porcentaje de frutos maduros desprendidos, asociada al indicador de Eficacia; porcentaje de frutos dejados en el suelo, asociada al indicador de Pérdidas, obtenido como la relación entre el peso de los frutos dejados en el suelo y el peso de los frutos recolectados; y porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, asociada al indicador de Calidad.

En las Pruebas de aptitud física, se aplicaron: 1). el Test de Cooper, para evaluar la resistencia física. Para ello, a cada operario se le solicitó realizar una carrera durante doce minutos, al final de la cual se registró la distancia recorrida. En la Tabla 1 se ilustra la clasificación de la resistencia física, para hombres y mujeres, de diferentes edades, de acuerdo con la distancia recorrida; 2). La prueba de agilidad, con la cual a cada operario, de una bandeja con 200 frutos de café maduros (rojos), 200 verdes y 50 hojas, se le solicitó tomar el mayor número de frutos maduros en un minuto; la calificación de esta prueba se dio respecto al número de frutos maduros, menos los frutos verdes y las hojas de la masa seleccionada; 3). Para evaluar el cuadro hemático, se tomaron como referencia los valores normales de los componentes, tanto para hombres como para mujeres (Tabla 2).

De los nueve operarios se seleccionaron seis, quienes presentaron aptitudes físicas aceptables, es decir, presentaron calificaciones para la resistencia física entre regular y excelente, y componentes del cuadro hemático en los rangos normales.

Con los operarios seleccionados se conformaron dos grupos de tres operarios, de tal manera que cada grupo contó con un operario

homólogo en el grupo contrario. El operario homólogo, debía tener descriptivamente, una diferencia menor o igual a cinco frutos para la prueba de agilidad y debía ser igual estadísticamente, en los promedios de las variables asociadas a los indicadores de la recolección: kilogramos recolectados por hora (eficiencia), porcentaje de verdes en la masa cosechada (calidad), porcentaje de frutos maduros desprendidos (eficacia) y porcentaje de frutos dejados en el suelo (pérdidas). Para la comparación de los promedios entre operarios se utilizó la prueba de Duncan al 5%.

**Fase 2.** Capacitación del personal. Inicialmente se realizó una inducción, en la cual se presentó el método propuesto (evaluado), a uno de los grupos conformados en la fase 1. La inducción consistió en presentar un análisis técnico de las operaciones que componen la actividad de recolección y una reflexión de los indicadores de la labor. Para esta actividad se emplearon ayudas audiovisuales (carteleras, material escrito y vídeos, entre otros).

Luego, cada recolector seleccionado para esta fase fue observado en el campo, operando con el método propuesto, y se corrigió en la ejecución de los movimientos. Este proceso se realizó durante cinco jornadas, en terreno con pendiente superior al 70%. Con la información obtenida de las variables asociadas a los indicadores de la actividad, en cada jornada, se construyeron las curvas de aprendizaje. El procedimiento para obtener estas variables fue el mismo que se describió en las pruebas operativas de la fase 1.

Al final de las cinco jornadas se verificó si los operarios alcanzaron los siguientes criterios:

*Eficiencia:* Rendimientos iguales o superiores a los presentados por Vélez *et al.* (13), para el método mejorado de la recolección.

**Tabla 1.** Clasificación del Test de Cooper, por categoría, de acuerdo con la edad, sexo y metros recorridos.

| Categoría | Edades           |               |                 |               |                 |               |                |               |
|-----------|------------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|---------------|
|           | Menor de 30 años |               | De 30 a 39 años |               | De 40 a 49 años |               | Más de 50 años |               |
|           | Hombre           | Mujer         | Hombre          | Mujer         | Hombre          | Mujer         | Hombre         | Mujer         |
| Muy malo  | < 1.610          | < 1.530       | < 1.530         | < 1.370       | < 1.370         | < 1.285       | < 1.285        | < 1.045       |
| Malo      | 1.610 – 2.009    | 1.530 – 1.849 | 1.530 – 1.849   | 1.370 – 1.689 | 1.370 – 1.689   | 1.285 – 1.609 | 1.285 – 1.609  | 1.045 – 1.369 |
| Regular   | 2.010 – 2.414    | 1.850 – 2.254 | 1.850 – 2.254   | 1.690 – 2.089 | 1.690 – 2.089   | 1.610 – 2.009 | 1.610 – 2.009  | 1.370 – 1.889 |
| Bueno     | 2.415 – 2.819    | 2.255 – 2.659 | 2.255 – 2.659   | 2.090 – 2.494 | 2.090 – 2.494   | 2.010 – 2.414 | 2.010 – 2.414  | 1.890 – 2.170 |
| Excelente | > 2.820          | > 2.660       | > 2.660         | > 2.495       | > 2.495         | > 2.415       | > 2.415        | > 2.170       |

Tomado de: [www.fcmax.com/herramientas/cooper.asp](http://www.fcmax.com/herramientas/cooper.asp)

**Tabla 2.** Valores normales del cuadro hemático de acuerdo con el sexo.

| Componente  | Unidad          | Hombres       | Mujeres       |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|
| Hemoglobina | g/dl            | 13,5 – 18,0   | 12,0 – 16,5   |
| Leucocitos  | Mm <sup>3</sup> | 6.000 – 8.000 | 6.000 – 8.000 |
| Hematocrito | ---             | 40 – 54       | 46 – 47       |

Tomado de: <http://www.medicentro.com.co/Laboratorio.htm>

*Calidad:* Porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada inferior al 2,5%.

*Eficacia:* Menos de 5 frutos maduros dejados por planta.

*Pérdidas:* Menos de 5 frutos totales dejados en el plato del árbol.

Como este resultado no se alcanzó en las primeras cinco jornadas, se amplió la capacitación en dos jornadas. Una vez terminada la fase de capacitación, se procedió a evaluar el método propuesto.

**Fase 3.** Evaluación del método propuesto. Para la evaluación de este método de recolección se llevaron a cabo las siguientes actividades:

En el lote a trabajar, se asignó la mitad al grupo capacitado, para que cada operario realizara la labor de recolección con el método

propuesto (método de recolección 1), durante una jornada. Simultáneamente, en la otra mitad del lote, los operarios no capacitados, trabajaron con el método tradicional de recolección (método de recolección 2). Durante cada jornada de trabajo y por tratamiento se registró la siguiente información: kilogramos de café recolectados, tiempo invertido (duración) en diez árboles seleccionados aleatoriamente, número de frutos maduros dejados en el árbol, número de frutos maduros, verdes y pintones dejados en el suelo después del proceso (tomadas en diferentes momentos de la jornada), en tres muestras compuestas de un kilogramo de café recolectado, cada una, y los gramos de frutos verdes presentes.

Con esta información se generaron las variables kilogramos de café recolectado por unidad de tiempo, asociadas a los indicadores, eficiencia, eficacia, pérdidas y calidad, respectivamente. Con estas variables

se estimaron los promedios de cada método de recolección y se compararon mediante pruebas de t al 5%. frutos maduros sin desprender, frutos dejados en el suelo y porcentaje de frutos verdes en la masa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los participantes en esta investigación habitaban en el municipio de Chinchiná y sabían leer y escribir; el 88,9% eran solteros, el 44,5% manifestaron tener un hijo, pero sólo la mitad de estos últimos aportaba económicamente para su sostenimiento. El 55,5% de los participantes realizaba alguna actividad deportiva, el mismo porcentaje confesó ingerir con frecuencia bebidas alcohólicas y sólo un operario fumaba.

**Fase 1.** Los resultados de la prueba de Cooper mostraron que todos los recolectores estuvieron en la categoría regular. Para la prueba de agilidad se presentó una calificación

entre 102 y 117 frutos de café maduro seleccionado (Tabla 3). Vélez *et al.* (13) encontraron una calificación aproximada de 117 frutos maduros en esta prueba, para recolectores con rendimiento operativo entre 12 y 16 kg/h café cereza, con un porcentaje de desprendimiento de frutos maduros entre 96% y 97% y con pérdidas entre 2,0% y 2,5%.

Sólo el operario 7 presentó resultados para la hemoglobina y hematocrito por debajo de los límites considerados como normales (Tabla 3).

En la caracterización operativa de los recolectores, al ejecutar el método tradicional, la prueba de Duncan al 5% (Tabla 4), mostró diferencias para la variable kilogramos de café recolectado por hora, asociada el indicador de eficiencia, entre los operarios 2, 5 y 6 frente al operario 8, a favor de los primeros. Este resultado puede obedecer a que los árboles cosechados por aquellos,

**Tabla 3.** Resultados de las pruebas de aptitud física, para cada operario.

| Operario | Edad | Agilidad | Resistencia física |           | Cuadro hemático    |             |                               |
|----------|------|----------|--------------------|-----------|--------------------|-------------|-------------------------------|
|          |      |          | Distancia (m)      | Categoría | Hemoglobina (g/dl) | Hematocrito | Leucocitos (mm <sup>3</sup> ) |
| 1        | 30   | 117      | 2.055,4            | Regular   | 16,0               | 50          | 6.000                         |
| 2        | 28   | 112      | 2.315,8            | Regular   | 14,0               | 47          | 10.000                        |
| 3        | 24   | 113      | 2.229,7            | Regular   | 16,0               | 49          | 7.000                         |
| 4        | 17   | 111      | 2.401,5            | Regular   | 17,0               | 49          | 6.500                         |
| 5        | 35   | 109      | 2.130,0            | Regular   | 18,0               | 50          | 5.600                         |
| 6        | 45   | 113      | 1.722,6            | Regular   | 16,3               | 48          | 7.000                         |
| 7        | 39   | 119      | 2.131,2            | Regular   | 11,5 *             | 35*         | 7.200                         |
| 8        | 47   | 102      | 1.980,4            | Regular   | 14,6               | 45          | 6.800                         |
| 9        | 50   | 89       | 1.698,8            | Regular   | 16,0               | 47          | 8.000                         |

\*Valor por debajo de los límites considerados como normales.

**Tabla 4.** Promedio y coeficiente de variación, para las variables kilogramos de café cosechado por árbol y porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, para cada operario.

| Operario | kilogramos de café recolectado por hora (Eficiencia) |          | Porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada (Calidad) |          |
|----------|------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------|----------|
|          | Promedio                                             | C.V. (%) | Promedio                                                   | C.V. (%) |
| 1        | 9,03 cd                                              | 16,29    | 0,86 b                                                     | 55,38    |
| 2        | 11,13 a                                              | 6,95     | 1,56 a                                                     | 21,23    |
| 3        | 9,66 bc                                              | 4,72     | 1,34 a                                                     | 26,15    |
| 4        | 9,37 bcd                                             | 8,94     | 1,38 a                                                     | 21,78    |
| 5        | 10,21 abc                                            | 2,54     | 1,40 a                                                     | 22,71    |
| 6        | 10,36 ab                                             | 6,52     | 1,38 a                                                     | 30,21    |
| 7        | 8,41 d                                               | 13,69    | 0,85 b                                                     | 52,94    |
| 8        | 5,59 e                                               | 13,32    | 0,71 bc                                                    | 47,94    |
| 9        | 8,35 d                                               | 11,14    | 0,55 c                                                     | 59,49    |

presentaron un mayor promedio de café maduro por recolectar, disminuyéndose el tiempo empleado en operaciones de búsqueda y transporte. Adicionalmente, estos operarios presentaron una agilidad con calificación superior a 108 (Tabla 3).

La prueba de Duncan al 5%, con la variable porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, asociada al indicador de calidad, mostró diferencias a favor de los operarios 1, 7, 8 y 9, quienes a su vez, cosecharon árboles con mayor promedio de carga de café maduro (Tabla 4). Todos los operarios presentaron un porcentaje medio de frutos verdes en la masa cosechada inferior al 2,5%, cuatro de ellos menores de 1,0% (Tabla 4).

Los operarios fueron igualmente eficaces en la recolección. En la variable frutos dejados en el suelo, el operario 2 presentó el mayor porcentaje medio (Tabla 5).

De los nueve operarios que participaron en esta evaluación, fue descartado el 7,

dado que presentó valores de hemoglobina y hematocrito, por debajo de los límites considerados como normales y se retiraron voluntariamente dos (operarios 8 y 9). Por lo tanto, el grupo 1 estuvo conformado por los operarios 1, 4 y 5, y el grupo 2 estuvo conformado por los operarios 2, 3 y 6, de tal manera que el homólogo del operario 3 (grupo 2), fue el operario 4 (grupo 1), ya que obtuvieron una diferencia de dos puntos en la prueba de agilidad y sus desempeños operativos estadísticamente iguales para todos los indicadores; al operario 5 (grupo 1), le correspondió como homólogo el operario 6 (grupo 2), por tener una diferencia de cuatro puntos en la prueba de agilidad e igualdad estadística en los indicadores operativos.

Para los operarios 1 y 2, se presentó una diferencia de cinco puntos en la prueba de agilidad y difirieron estadísticamente en las pruebas operativas, sin embargo, por la disposición de tiempo, se prosiguió con estos operarios para la siguiente fase. En la Tabla 6, se ilustra para cada grupo, el mínimo y máximo observados, de cada una de las

**Tabla 5.** Promedio y coeficiente de variación para las variables porcentaje de frutos maduros desprendidos, número de frutos maduros dejados en el árbol, proporción de frutos dejados en el suelo y número de frutos dejados en el suelo, para cada operario.

| Operario | Proporción de frutos maduros desprendidos |         | Número de frutos maduros dejados en el árbol |         | Proporción de frutos dejados en el suelo |         | Número de frutos dejados en el suelo |         |
|----------|-------------------------------------------|---------|----------------------------------------------|---------|------------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|
|          | Promedio                                  | C.V.(%) | Promedio                                     | C.V.(%) | Promedio                                 | C.V.(%) | Promedio                             | C.V.(%) |
| 1        | 97,29 ab                                  | 2,23    | 6,3                                          | 54,84   | 2,60 ab                                  | 51,54   | 7,30                                 | 83,64   |
| 2        | 98,02 a                                   | 1,11    | 8,0                                          | 47,58   | 3,20 a                                   | 45,96   | 5,38                                 | 59,36   |
| 3        | 97,84 ab                                  | 1,60    | 6,6                                          | 58,94   | 2,64 a b                                 | 56,11   | 5,60                                 | 74,81   |
| 4        | 97,88 ab                                  | 1,08    | 6,9                                          | 44,64   | 2,82 ab                                  | 44,56   | 5,70                                 | 51,39   |
| 5        | 98,10 a                                   | 1,05    | 6,8                                          | 49,09   | 2,76 ab                                  | 44,86   | 5,06                                 | 54,66   |
| 6        | 97,88 ab                                  | 1,24    | 6,8                                          | 47,05   | 2,76 ab                                  | 47,75   | 5,96                                 | 59,10   |
| 7        | 97,20 ab                                  | 1,75    | 7,4                                          | 80,52   | 2,98 ab                                  | 73,48   | 7,80                                 | 63,32   |
| 8        | 96,80 ab                                  | 3,31    | 5,9                                          | 86,29   | 2,42 b                                   | 77,46   | 8,36                                 | 93,80   |
| 9        | 96,92 ab                                  | 2,36    | 7,4                                          | 57,99   | 2,96 ab                                  | 55,01   | 8,62                                 | 74,55   |

Letras no comunes implican diferencia estadística entre operarios, según prueba de Duncan al 5%.

**Tabla 6.** Mínimos y máximos observados de la edad y de cada una de las características asociadas a las pruebas de aptitud física en cada grupo. Fase 1.

| Característica                | Grupo 1 |         | Grupo 2 |         |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|
|                               | Mínimo  | Máximo  | Mínimo  | Máximo  |
| Edad                          | 17      | 35      | 24      | 45      |
| Agilidad                      | 109     | 117     | 112     | 113     |
| Resistencia                   | Regular | Regular | Regular | Regular |
| Hemoglobina (g/dl)            | 16      | 18      | 14      | 16,3    |
| Hematocrito                   | 49      | 50      | 47      | 49      |
| Leucocitos (mm <sup>3</sup> ) | 5.600   | 6.500   | 7.000   | 10.000  |

características asociadas a las pruebas de aptitud física, y en la Tabla 7 el promedio por grupo operario, de las características asociadas a las pruebas operativas, en las cuales los dos grupos fueron iguales en su desempeño, según prueba t al 5% (Tabla 7).

Se seleccionó aleatoriamente el grupo 1, para estar capacitado en el método a evaluar (fase 2).

**Fase 2.** Durante las primeras dos jornadas de capacitación, los operarios manifestaron desagrado por el empleo de la “lengüeta” colocada al canasto utilizado para almacenar temporalmente el café recolectado, argumentando que al agacharse a recoger los frutos del suelo ésta les golpeaba el rostro. Sin embargo, al finalizar las siete jornadas programadas, la percepción de los recolectores cambió, debido a que retenía

gran parte los frutos que desprendían y, por lo tanto, durante las jornadas disminuía el tiempo dedicado a recoger los frutos del suelo. En cuanto a los movimientos que componen el método mejorado, aunque los recolectores manifestaron disposición a aceptarlos, se observó que de manera involuntaria omitían su realización. Al finalizar esta fase, los recolectores corrigieron esta situación.

En el transcurso de la capacitación, la carga de café maduro disponible en los árboles fue inferior a 0,5 kg e igual estadísticamente para todos los operarios, según la prueba de Duncan al 5%.

Los registros de cada operario para el número de frutos dejados en el suelo (asociado al indicador pérdidas) y número de frutos maduros dejados en el árbol (asociado al indicador eficacia), durante las siete jornadas correspondientes al período de capacitación, se ilustran en la Tabla 8. A partir de esta información se construyeron las curvas de aprendizaje por operario.

En las jornadas 1, 4, 5 y 6, los tres operarios tuvieron el mismo desempeño respecto a la variable asociada al indicador de eficacia, fluctuando entre 3,9 y 6,3 frutos maduros dejados por árbol; en la última jornada, dos de los operarios dejaron en promedio 3 frutos maduros en el árbol, mejorando cada

uno de ellos su desempeño en este indicador respecto a la segunda jornada, según prueba t al 5% (Tabla 8).

La evolución del número de frutos maduros dejados en el árbol (Figura 4), muestra que el operario 1 inicia esta fase dejando en promedio 6,3; en la segunda jornada, el operario 1 dejó más frutos maduros sin desprender llegando a 9,3 frutos por árbol, esto pudo obedecer a que ese día se presentó una lluvia intensa, que dificultó la visibilidad de los frutos e impidió la realización de movimientos ordenados.

En los días siguientes el operario 1 mejoró progresivamente hasta dejar en el árbol, en la última jornada de capacitación, en promedio 3,2 frutos de café maduro por árbol, inferior a 5, máximo propuesto por Bustillo (2), para facilitar el manejo integrado de la broca; mientras que los operarios 4 y 5, al inicio del período de capacitación, cumplieron con el criterio propuesto por Bustillo (2). Al final, sólo dos operarios cumplieron con el criterio de normalización del desempeño de los recolectores.

Para la variable asociada al indicador de pérdidas (Figura 5), los operarios tuvieron el mismo desempeño hasta la sexta jornada, en el número medio de frutos dejados en el suelo por árbol. El operario 1 inició

**Tabla 7.** Promedio y coeficiente de variación, en cada grupo, de las características asociadas a las pruebas operativas. Fase 1.

| Característica                    | Grupo 1  |          | Grupo 2  |          |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | Promedio | C.V. (%) | Promedio | C.V. (%) |
| Kilogramos recolectados por hora  | 9,54     | 11,0     | 10,38    | 8,3      |
| Frutos dejados en el suelo        | 6,70     | 14,1     | 7,16     | 21,3     |
| Frutos maduros dejados por árbol  | 6,02     | 29,1     | 5,64     | 27,5     |
| Porcentaje de verdes recolectados | 1,21     | 30,1     | 1,42     | 12,2     |

**Tabla 8.** Promedio y coeficiente de variación, para el número de frutos dejados en el árbol y en el suelo, por operario y jornada.

| Jornada | Operario   | Número de frutos maduros dejados en el árbol |          | Número de frutos maduros dejados en el suelo |          |
|---------|------------|----------------------------------------------|----------|----------------------------------------------|----------|
|         |            | Promedio                                     | C.V. (%) | Promedio                                     | C.V. (%) |
| 1       | 1. LAU GOM | 6,3 a                                        | 66,11    | 7,5 a                                        | 44,11    |
|         | 4. JHO ACE | 4,5 a                                        | 58,56    | 6,5 a                                        | 41,82    |
|         | 5. GUI MUÑ | 4,5 a                                        | 43,12    | 8,5 a                                        | 53,55    |
| 2       | 1. LAU GOM | 9,3 a                                        | 46,19    | 8,9 a                                        | 45,08    |
|         | 4. JHO ACE | 5,3 b                                        | 50,35    | 6,7 a                                        | 33,78    |
|         | 5. GUI MUÑ | 7,5 ab                                       | 27,58    | 6,1 a                                        | 41,94    |
| 3       | 1. LAU GOM | 6,8 a                                        | 33,10    | 7,3 a                                        | 47,03    |
|         | 4. JHO ACE | 4,4 b                                        | 51,60    | 5,8 a                                        | 34,29    |
|         | 5. GUI MUÑ | 5,2 ab                                       | 44,23    | 8,0 a                                        | 47,87    |
| 4       | 1. LAU GOM | 5,5 a                                        | 34,55    | 6,0 a                                        | 51,52    |
|         | 4. JHO ACE | 5,0 a                                        | 43,20    | 6,7 a                                        | 37,26    |
|         | 5. GUI MUÑ | 5,3 a                                        | 44,52    | 6,5 a                                        | 76,49    |
| 5       | 1. LAU GOM | 5,1 a                                        | 37,49    | 5,9 a                                        | 44,09    |
|         | 4. JHO ACE | 4,8 a                                        | 74,66    | 8,5 a                                        | 50,30    |
|         | 5. GUI MUÑ | 5,1 a                                        | 35,14    | 8,4 a                                        | 38,96    |
| 6       | 1. LAU GOM | 4,5 a                                        | 53,67    | 9,4 a                                        | 53,12    |
|         | 4. JHO ACE | 4,7 a                                        | 50,20    | 5,8 a                                        | 63,37    |
|         | 5. GUI MUÑ | 3,9 a                                        | 50,49    | 5,5 a                                        | 77,26    |
| 7       | 1. LAU GOM | 3,2 b                                        | 79,06    | 13,6 a                                       | 47,93    |
|         | 4. JHO ACE | 3,3 b                                        | 78,31    | 7,1 b                                        | 38,97    |
|         | 5. GUI MUÑ | 6,3 a                                        | 28,05    | 5,6 ab                                       | 38,76    |

En cada jornada y para cada variable, letras no comunes indican diferencias de promedios entre operarios, según prueba de Duncan al 5%.

la capacitación dejando en promedio 7,5 frutos de café en el suelo, para la segunda jornada este número se incrementó a 8,9. A partir de esta jornada y hasta la quinta, el registro fue de 6,0 frutos. En la sexta y séptima jornadas, se observó que el operario dejó más frutos en el suelo (en su mayoría verdes), que en los días anteriores. Este resultado pudo deberse a que el porcentaje de maduración en el árbol era bajo y, en consecuencia, el operario desprendió una mayor cantidad de frutos verdes que posteriormente, posiblemente arrojó al suelo. Los operarios 4 y 5 presentaron menor promedio en la última jornada de trabajo.

De acuerdo con la variabilidad y la prueba de t, al 5%, en la cuarta jornada, los tres operarios, cumplieron con lo recomendado por Bustillo (2), para el manejo integrado de la broca, al dejar en promedio, estadísticamente, cinco frutos en el suelo, y este mismo resultado lo presentó el operario cinco en la última jornada. En las demás jornadas, al menos uno de ellos lo cumplió, excepto en la jornadas 3 y 6, que lo cumplieron los operarios 1 y 4. Por lo tanto, el criterio a considerar para definir si el recolector se encontraba normalizado, en lo referente a esta variable, no se cumplió debido a que los recolectores no tienen la costumbre

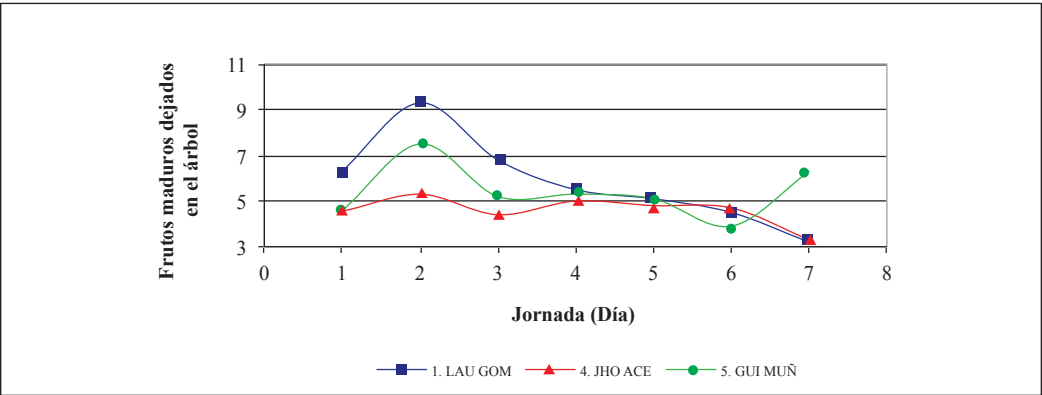
de recoger los frutos verdes que se caen al suelo.

Respecto a la variable porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, asociada al indicador de calidad, en cada una de las jornadas, los tres operarios presentaron el mismo promedio (Tabla 9).

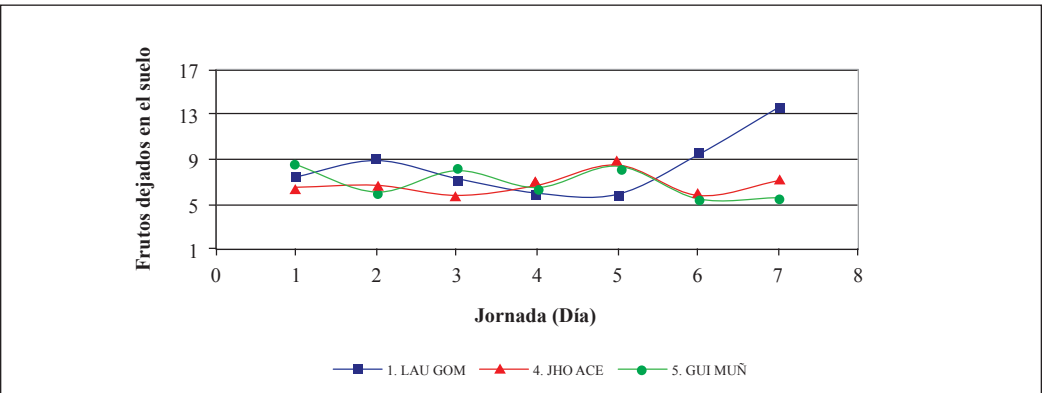
Durante todas las jornadas, para cada operario, el valor máximo observado no excedió el 2,0% de frutos verdes en la masa cosechada, inferior al máximo permitido para no afectar la calidad del café en taza, cuando no se retiran durante el proceso de

beneficio (11). Estos resultados son atribuibles a la supervisión en el campo y al hábito de recolectar principalmente frutos maduros (Figura 6).

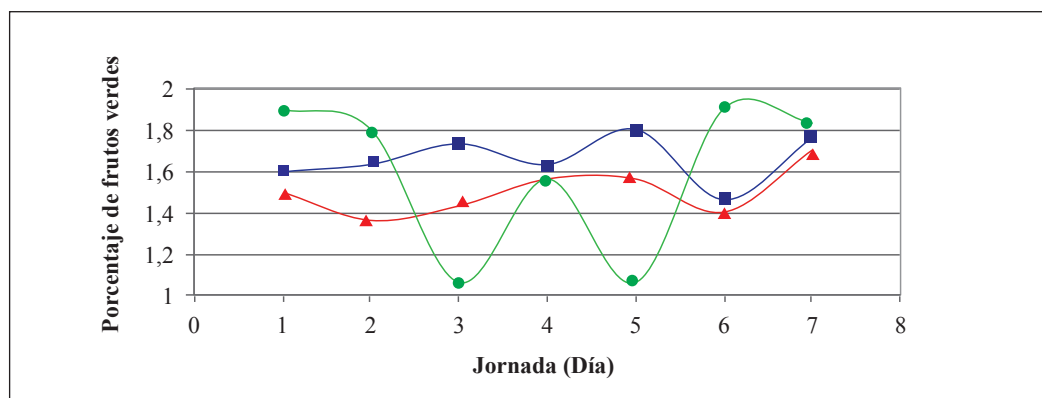
En la etapa de capacitación (fase 2), los operarios presentaron eficiencias entre 9,5 y 18,3 kg de café recolectado por hora (Tabla 9), y descriptivamente, en general, los operarios incrementaron la cantidad de café recolectado con el transcurrir de las jornadas, destacándose el operario 1, que pasó de recolectar 11,4 kg.h<sup>-1</sup> en el primer día a 18,3 kg.h<sup>-1</sup>, al final del ciclo de capacitación (Figura 7).



**Figura 4.** Comportamiento de la variable frutos maduros dejados en el árbol, asociada al indicador de eficacia, para cada operario, durante las jornadas de capacitación.



**Figura 5.** Comportamiento de la variable frutos dejados en el suelo, asociada al indicador de pérdida, para cada operario, durante las jornadas de capacitación.



**Figura 6.** Comportamiento de la variable porcentaje de frutos verdes en la masa cosechada, para cada operario, durante las jornadas de capacitación. Fase 2.

**Tabla 9.** Promedio y coeficiente de variación para el porcentaje de frutos verdes en el café recolectado, y kilogramos de café recolectado por hora, por jornada y operario. Fase 2.

| Jornada | Operario   | Kilogramos de<br>café recolectado<br>por hora | Porcentaje de frutos verdes en el café<br>recolectado |         |
|---------|------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------|
|         |            |                                               | Promedio                                              | C.V.(%) |
| 1       | 1. LAU GOM | 11,4                                          | 1,60 a                                                | 9,12    |
|         | 4. JHO ACE | 10,0                                          | 1,50 a                                                | 25,46   |
|         | 5. GUI MUÑ | 12,3                                          | 1,90 a                                                | 62,42   |
| 2       | 1. LAU GOM | 11,9                                          | 1,63 a                                                | 32,75   |
|         | 4. JHO ACE | 9,5                                           | 1,36 a                                                | 19,52   |
|         | 5. GUI MUÑ | 11,1                                          | 1,80 a                                                | 24,12   |
| 3       | 1. LAU GOM | 13,0                                          | 1,73 a                                                | 32,88   |
|         | 4. JHO ACE | 10,6                                          | 1,43 a                                                | 37,12   |
|         | 5. GUI MUÑ | 10,0                                          | 1,06 a                                                | 23,52   |
| 4       | 1. LAU GOM | 13,0                                          | 1,63 a                                                | 35,80   |
|         | 4. JHO ACE | 10,9                                          | 1,56 a                                                | 3,69    |
|         | 5. GUI MUÑ | 13,1                                          | 1,56 a                                                | 13,29   |
| 5       | 1. LAU GOM | 16,7                                          | 1,80 a                                                | 31,13   |
|         | 4. JHO ACE | 12,0                                          | 1,56 a                                                | 20,38   |
|         | 5. GUI MUÑ | 12,8                                          | 1,06 a                                                | 22,53   |
| 6       | 1. LAU GOM | 16,9                                          | 1,46 a                                                | 28,28   |
|         | 4. JHO ACE | 12,7                                          | 1,40 a                                                | 17,63   |
|         | 5. GUI MUÑ | 14,5                                          | 1,90 a                                                | 23,18   |
| 7       | 1. LAU GOM | 18,3                                          | 1,76 a                                                | 9,62    |
|         | 4. JHO ACE | 13,7                                          | 1,70 a                                                | 37,55   |
|         | 5. GUI MUÑ | 15,0                                          | 1,83 a                                                | 42,48   |

Valores con letras no comunes implican diferencia estadística, según prueba de Duncan al 5%.

El rendimiento de los operarios durante la última jornada del período de capacitación, está comprendido en los intervalos de confianza reportados por Vélez *et al.* (13), para el método mejorado de la recolección. Estos resultados confirman que al final del período de capacitación, los operarios cumplieron con el criterio de normalización para la variable rendimiento, es decir, que igualaron o superaron los rendimientos reportados para el método mejorado.

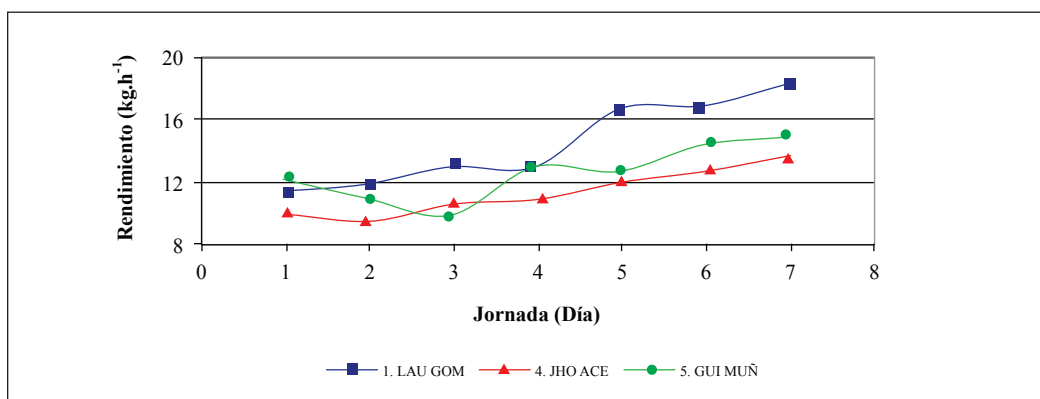
En término generales, como se puede apreciar en las curvas de aprendizaje, la mayoría de los casos no muestran una tendencia definida, ya que como se mencionó anteriormente, están afectadas por las características de la labor, aptitudes y mentalidad de los operarios. En cuanto al primer aspecto, hay que decir que en esta actividad, las características que pueden influir en el desempeño operativo como el estado del tiempo, el café disponible y su distribución espacial entre otras, varían de una jornada a otra; en lo que se refiere a las aptitudes que necesita un operario para desarrollar esta labor, se sabe que el personal de recolectores no es contratado de acuerdo a ningún criterio físico de selección y, por último, todos los recolectores no tienen

las mismas motivaciones personales. Estos factores, difíciles de controlar, pudieron ejercer algún efecto en el comportamiento de estas curvas.

**Fase 3.** Los promedios de rendimiento y frutos dejados en el suelo, con su respectivo intervalo, para cada método de recolección, se presentan en la Tabla 10. Se aprecia que en el grupo homólogo A, el operario 1 registró un promedio de frutos dejados en el suelo menor que el operario 2, según prueba t, al 5%. En el grupo B y C, no se presentaron diferencias para las dos variables.

El promedio de las variables frutos maduros sin recolectar y frutos verdes en el café cosechado, asociadas a los indicadores eficacia y calidad, respectivamente, fue igual para el operario que aplicó el método mejorado (evaluado), y aquel que aplicó el método tradicional (Tabla 11), en cada uno de los grupos homólogos, de acuerdo con la prueba t, al 5%.

De acuerdo con estos resultados, no fue corroborada la hipótesis de investigación: “Con el método de recolección propuesto, en pendientes superiores al 70%, se mejoran los



**Figura 7.** Comportamiento de la variable kilogramos de café recolectado por hora, para cada operario, durante las jornadas de capacitación. Fase 2.

**Tabla 10.** Promedios de las variables rendimiento y número de frutos dejados en el suelo, por operario, en la evaluación del método.

| Grupo | Operario   | Método      | Carga<br>(kg/<br>árbol) | Rendimiento (kg/h) |       |       | Frutos dejados en el suelo |      |      |
|-------|------------|-------------|-------------------------|--------------------|-------|-------|----------------------------|------|------|
|       |            |             |                         | Promedio           | LI    | LS    | Promedio                   | LI   | LS   |
| A     | 1. LAU GOM | Mejorado    | 0,27                    | 15,37              | 11,37 | 19,36 | 6,68                       | 5,99 | 7,37 |
|       | 2. JAM CAS | Tradicional | 0,27                    | 13,15              | 9,59  | 16,72 | 7,55                       | 6,84 | 8,27 |
| B     | 3. MOI GOM | Tradicional | 0.42                    | 13,78              | 11,85 | 15,71 | 7,68                       | 6,83 | 8,53 |
|       | 4. JHO ACE | Mejorado    | 0.42                    | 13,78              | 11,83 | 15,73 | 7,05                       | 6,51 | 7,59 |
| C     | 5. GUI MUÑ | Mejorado    | 0.35                    | 15,63              | 13,32 | 17,94 | 6,53                       | 5,31 | 7,75 |
|       | 6. HEC REY | Tradicional | 0.35                    | 14,63              | 10,65 | 18,61 | 7,66                       | 6,47 | 8,86 |

**Tabla 11.** Promedios de las variables número de frutos dejados en el árbol y porcentaje de frutos verdes en el café cosechado, en la evaluación operativa del método.

| Grupo | Operario   | Método      | Frutos maduros sin<br>recolectar/árbol |      |      | Frutos verdes en el café<br>cosechado (%) |      |      |
|-------|------------|-------------|----------------------------------------|------|------|-------------------------------------------|------|------|
|       |            |             | Promedio                               | LI   | LS   | Promedio                                  | LI   | LS   |
| A     | 1. LAU GOM | Mejorado    | 6,58                                   | 5,80 | 7,36 | 1,64                                      | 1,45 | 1,82 |
|       | 2. JAM CAS | Tradicional | 7,31                                   | 6,70 | 7,92 | 1,53                                      | 1,29 | 1,77 |
| B     | 3. MOI GOM | Tradicional | 5,77                                   | 5,14 | 6,39 | 1,52                                      | 1,30 | 1,74 |
|       | 4. JHO ACE | Mejorado    | 5,57                                   | 4,91 | 6,22 | 1,60                                      | 1,39 | 1,81 |
| C     | 5. GUI MUÑ | Mejorado    | 7,03                                   | 5,78 | 8,27 | 1,55                                      | 1,10 | 2,00 |
|       | 6. HEC REY | Tradicional | 6,80                                   | 6,08 | 7,51 | 1,43                                      | 1,20 | 1,66 |

indicadores de eficiencia, calidad y pérdidas”, es decir, en términos generales, se observó que sólo un operario mejoró en el indicador de pérdidas (frutos dejados en el suelo).

En conclusión, con la aplicación del método propuesto en esta investigación para cosechar café en terrenos con pendiente superior al 70% no se mejoraron los indicadores eficiencia, eficacia, calidad y pérdidas con relación al método tradicional.

## LITERATURA CITADA

1. BARNES, R.M. Estudio de movimientos y tiempos. 5. ed. Madrid : Aguilar, 1966. 746 p.
2. BUSTILLO P., A.E.; CÁRDENAS M., R.; VILLALBA G., D.A.; BENAVIDES M., P.; OROZCO H., J.; POSADA F., F.J.. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 1998. 134 p.
3. DÍAZ 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.
4. ISAZA G., L.E.; MONTOYA R., 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.
  5. 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.
  6. 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.
  7. MARTÍNEZ R., R.A. Estudio de tiempos y movimientos de la recolección manual del café en condiciones de alta pendiente. Cenicafé 56(1):50-66. 2005.
  8. MONTOYA R., E.C. Disminución de los costos de recolección mediante la cosecha manual asistida: Enfoque teórico. p. 127-129. En: CENICAFÉ. Informe anual de actividades. Chinchiná: CENICAFÉ, 2001. 140 p.
  9. 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.
  10. -----, Equipo portátil para asistir la cosecha manual de café. Universidad Nacional Facultad de agronomía. Revista Facultad Nacional de Agronomía 58(2):3003-3013. 2005.
  11. PUERTA Q., G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Cenicafé 51(2):136-150. 2000.
  12. 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.
  13. 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).
  14. 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.

# IDENTIFICACIÓN DE COCHINILLAS HARINOSAS EN LAS RAÍCES DE CAFÉ EN DEPARTAMENTOS CAFETEROS DE COLOMBIA

Clemencia Villegas-García; Pablo Benavides-Machado\*

## RESUMEN

**VILLEGAS G., C.; BENAVIDES M., P. Identificación de cochinillas harinosas en las raíces de café en departamentos cafeteros de Colombia. Revista Cenicafé 62(1):48-55.2011**

En Colombia se adelanta un plan de renovación de cafetales susceptibles a la roya del cafeto. La mayor limitante de plagas durante el establecimiento de nuevos cafetales son las cochinillas harinosas en las raíces del café, las cuales succionan savia de las raíces, retrasan el crecimiento de las plantas y ocasionan muerte de árboles. Varios departamentos cafeteros han reportado daños causados por esta plaga en los últimos años. Esta investigación se realizó con el objetivo de identificar las especies más predominantes de cochinillas harinosas en las raíces del café y cuantificar su incidencia, con el fin estructurar un plan de manejo de la plaga. Se realizó un muestreo en siete departamentos, donde se seleccionaron 30 fincas aleatoriamente por departamento. En cada finca se evaluó la presencia de cochinillas de la raíz, se determinó la presencia de nematodos, llagas radicales y malformaciones de la raíz, en 30 árboles mediante un muestreo sistemático. Los mayores porcentajes promedio de árboles afectados por la plaga fueron registrados en Risaralda (98) y Cauca (93), seguidos por Norte de Santander (71), Tolima (62), Santander (56), Caldas (44) y Cundinamarca (34). Se reportaron los géneros *Puto*, *Neochavesia*, *Dysmicoccus*, *Geococcus*, *Rhizhoecus* y *Pseudococcus* afectando las raíces del café; sin embargo, *Puto barberi* fue registrado en el 86% de los árboles afectados, siendo la especie más predominante y que ocasiona los mayores daños en Colombia. Se reporta por primera vez una escama del género *Toumeyella* afectando plantaciones en Norte de Santander en Colombia

**Palabras Clave:** *Puto barberi*, *Neochavesia*, *Dysmicoccus*, *Geococcus*, *Rhizhoecus*, *Pseudococcus*, *Toumeyella*.

## ABSTRACT

In Colombia there is current program to renovate coffee varieties susceptible to coffee-leaf-rust. The most limiting insect-pests during the establishment of new coffee crops are scale insects associated to coffee roots, which suck sap from the roots, delay the plants growth and even cause death. Several coffee producing Departments of Colombia have reported damages caused by this pests in the last years. This research was carried out in order to identify the most predominant root scale insects in the roots of coffee plants and to quantify the damage levels to finally structure a pest field control plan. Thirty coffee farms were selected in a random sampling each Department. A coffee crop infested by scale insects was identified in each farm, the presence of nematode plant pathogens, roots diseases and root malformations was determined in 30 plants through a systematic sampling. The highest mean percentage of plants infested by scale insects was recorded in Risaralda (98) and Cauca (93), followed by Norte de Santander (71), Tolima (62), Santander (56), Caldas (44) and Cundinamarca (34). The scale insect genus *Puto*, *Neochavesia*, *Dysmicoccus*, *Geococcus*, *Rhizhoecus* and *Pseudococcus* were reported affecting coffee roots; however, *Puto barberi* was the most abundant and limiting scale insect species in Colombia, and it was registered in 86% of the total infested trees. We report for the first time an insect of the genus *Toumeyella* attacking coffee roots in Norte de Santander in Colombia.

**Keywords:** *Puto barberi*, *Neochavesia*, *Dysmicoccus*, *Geococcus*, *Rhizhoecus*, *Pseudococcus*, *Toumeyella*.

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

Las cochinillas harinosas que afectan la parte aérea de los cafetales se registraron en Colombia desde 1928 (5), pero en 1931 se reportaron afectando raíces del café y se dieron recomendaciones de manejo (6, 8). A partir de este año, varios investigadores han realizado estudios para determinar los géneros y especies que se presentan en el cultivo de café. De esta manera, Roba en 1936, describe la hormiga de Amagá asociada con Pseudococcidos que ocasionaban daños en las raíces de árboles de café (12). En 1958, se hizo una descripción de la plaga en el Manual del Cafetero Colombiano (7) y se mencionaron algunas prácticas de manejo. Cárdenas y Benavides, en 1973, encontraron cochinillas harinosas a nivel foliar en una finca de Fresno (Tolima), y aunque no determinaron la especie, mencionaron que era similar a *Planococcus citri* (2). Posteriormente, en el año 1978, Cárdenas (3), reportó cochinillas harinosas en la parte aérea de árboles de café en la Estación Central Naranjal. Posada *et al.* (9), en 1970, registraron las siguientes especies de cochinillas harinosas asociadas al cultivo del café en Colombia: *Neochavesia caldasiae* Balachowsky, (citado como *Chavesia caldasiae*); *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), *Dysmicoccus* sp., *Ferrisia virgata* (Cockerell), *Planococcus citri* (Riso), *Puto antioquiensis* (Murillo), *P. barberi* (Cockerell), *Rhizoecus andensis* (Hambleton), *Rhizoecus coffeae* Laing y *Rhizoecus setosus* (Hambleton).

En 1997, Benavides y Cárdenas (1), mencionaron que las hormigas de Amagá y de la Esperanza se encontraban asociadas a cochinillas harinosas de las raíces en árboles de café en Colombia. Cárdenas y Posada (4), en 2001, indicaron que las cochinillas harinosas son un complejo de especies del género *Dysmicoccus*, siendo comunes *D. alazon* Williams, *D. cryptus* y *D. brevipes*, las cuales están asociadas con un hongo

basidiomiceto del género *Septobasidium* y con hormigas del género *Solenopsis* (Hymenoptera: Formicidae-Myrmicinae). Estas especies fueron consideradas las más dañinas, pues causaron la muerte de árboles en producción.

Ramos (10, 11) en 2004 y 2006, para el cultivo del café en Colombia, registró 12 especies de cochinillas harinosas: *D. brevipes*, *D. neobrevipes* Beardsley, *D. texensis* Tinsley, *Ferrisia virgata* (Cockerell), *Geococcus coffeae* Green, *Planococcus* spp., *Pseudococcus jackbeardsleyi* Borchsenius (citado como *P. elisae*), *P. landoi* (Balachowsky), *P. sociabilis* Hambleton, *Rhizoecus americanus* (Hambleton), *R. setosus* (Hambleton) y *Puto barberi* (Cockerell).

En el año 2008, Villegas *et al.* (13, 14, 15) realizan estudios de identificación de especies y cuantificación de daños de las cochinillas harinosas en el departamento del Quindío. Los resultados mostraron que el 64% de los árboles de café evaluados en cafetales afectados, presentaron cochinillas harinosas, representados en cuatro géneros: *Puto*, *Neochavesia*, *Dysmicoccus* y *Pseudococcus*. Observaciones sobre los hábitos indicaron que su distribución fue aleatoria dentro del lote, y gregaria en las raíces, y se presentan entre los 5 y 40 cm de profundidad, dependiendo de la edad de los árboles. Como principal insecto asociado a las cochinillas harinosas de la raíz se encontraron 19 géneros de hormigas, todas en una relación de simbiosis en donde sobresalieron por su frecuencia los géneros *Tranopelta*, *Acropyga*, *Solenopsis*, *Brachymyrmex*, *Wasmania* y *Pheidole*.

El objetivo de esta investigación fue identificar las cochinillas harinosas que se encuentran asociadas a las raíces del café en siete departamentos cafeteros de Colombia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio fue realizado en Caldas, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima, departamentos cafeteros de Colombia. En cada uno se obtuvo un listado de fincas que tuvieran antecedentes de daños causados por cochinillas harinosas y presentaran síntomas de marchitamiento de árboles. Se seleccionaron 30 fincas mediante una distribución aleatoria, con asignación proporcional en los municipios más afectados de cada departamento. Posteriormente, se escogió un lote que presentara árboles con los mayores síntomas de amarillamiento, caída de hojas y presencia de cochinillas harinosas. En cada lote se evaluaron 30 árboles de acuerdo con un plan de muestreo sistemático. Se destaparon las raíces principales y secundarias de los árboles y se registró la presencia de cochinillas de la raíz, se tomaron fotografías, se guardaron los insectos en viales con alcohol al 70% y se rotularon las muestras para su posterior identificación en el laboratorio de Entomología de Cenicafé. El muestreo se realizó con la colaboración del Servicio de Extensión de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Se obtuvieron los datos de cada finca con información sobre ubicación, altitud, variedad de café, sistema productivo, edad del cultivo y procedencia del almácigo. Como observaciones complementarias por árbol muestreado se registró la presencia de hojas amarillas, nematodos, llagas radicales y malformaciones de la raíz.

Para la identificación de las especies de cochinillas en el laboratorio, se realizaron montajes en láminas para microscopia, teniendo en cuenta la metodología propuesta por Gullan, en el 2004, y modificada por Ramos, en 2006 (11). Esta metodología consistió en realizar una incisión dorsal de los insectos y sumergirlos en Hidróxido de Potasio - KOH al 10%, limpiar y extraer el contenido corporal; posteriormente, los

insectos se deshidrataron en alcohol al 80 y 96%, la grasa se diluyó con carboxileno y se eliminó el excedente químico mediante una limpieza con alcohol; para la tinción de los exoesqueletos se utilizó fucsina ácida y se aclararon en xilol. El montaje se realizó en bálsamo de Canadá y la identificación se realizó utilizando claves taxonómicas, teniendo en cuenta las características morfológicas microscópicas (16).

El análisis de la información consistió en la estimación de la proporción media de los árboles afectados por cochinilla por finca y sus límites de confianza, según análisis de la presencia de ellas en la raíz, con la identificación de los géneros de las cochinillas encontradas, estimación de la proporción de árboles, por finca y lote, con la presencia de cada género.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan las características de las fincas muestreadas, de mayor y menor altitud en los departamentos estudiados. Se realizaron muestreos desde los 655 m de altitud en el municipio de Farallones en Cundinamarca, hasta 1.987 metros en Pensilvania, Caldas; en cafetales con edades entre los 2 meses y 23 años, en seis variedades de café, en cafetales a libre exposición y con sombrío permanente o transitorio. Igualmente, se observó que un 55% de las plantas sembradas provenían de almácigos realizados en las mismas fincas.

Al considerar las edades de los árboles afectados en los muestreos, se observó que existía un número importante de árboles menores de un año de sembrados, es decir, correspondían a renovaciones por siembras nuevas. Ésta es una situación que obedece a la falta de planificación de siembras y mal manejo de problemas fitosanitarios durante el establecimiento de los cafetales. Además,

se detectaron plantaciones viejas afectadas, que eran candidatas para renovación por siembras nuevas, de esta manera, si no se toman precauciones, las nuevas plantas que se siembren en estos lotes serán rápidamente atacadas por cochinillas harinosas. Se registró la presencia de cochinillas harinosas en todas las variedades de café evaluadas (Tabla 1).

La estimación de la proporción media de árboles con presencia de cochinillas harinosas en las raíces de café, mostró a los departamentos de Risaralda y Cauca con los valores de incidencia por encima del 90% (Figura 1), con intervalos de confianza para Risaralda entre 95,22% y 100%, y para Cauca entre 79,65% y 100%; es decir, la baja variabilidad en la proporción de fincas

con cochinillas indica altas probabilidades de encontrar la plaga cuando ésta se presenta.

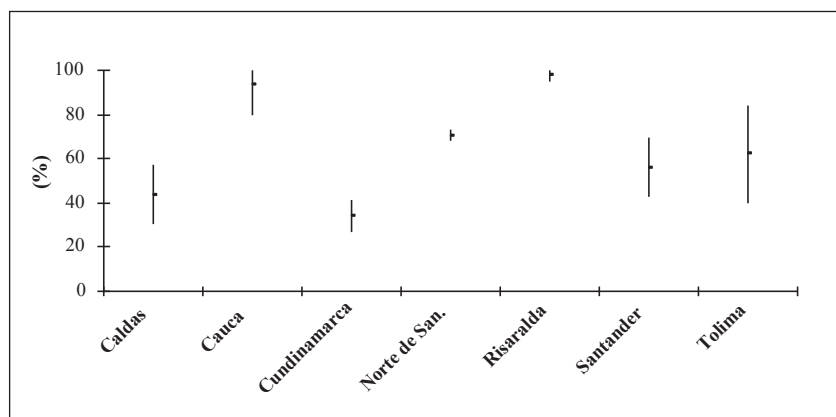
Los departamentos de Caldas, Norte de Santander, Santander y Tolima presentaron una proporción de árboles afectados por cochinillas harinosas entre 43,72% y 70,58%, siendo Cundinamarca el que presentó los menores porcentajes de árboles infestados con un promedio de 33,93%.

En cuanto a las especies de cochinillas harinosas de las raíces del café, se identificaron seis géneros: *Puto*, *Dysmicoccus*, *Pseudococcus*, *Neochavesia*, *Geococcus* y *Rhizoecus*. Estos resultados concuerdan con lo descrito por Villegas *et al.* (15), en muestreos realizados en el departamento del Quindío.

**Tabla 1.** Aspectos generales de las fincas muestreadas, de mayor y menor altitud, en siete departamentos cafeteros de Colombia.

| Depto.             | Información de las fincas |                        |                | Variedades ( % ) |      |       |      |     |      | Sombrio (%)   |     |      | Procedencia del almácigo (%) |    |    |    |
|--------------------|---------------------------|------------------------|----------------|------------------|------|-------|------|-----|------|---------------|-----|------|------------------------------|----|----|----|
|                    | Municipio                 | Finca                  | Altitud (m)    | Edades           |      |       |      |     |      | Con           | Sin | Semi | F                            | Co | Cm |    |
|                    |                           |                        |                | Cat.             | Col. | Cast. | Tabi | C.R | Tip. |               |     |      |                              |    |    |    |
| Caldas             | Samaná Pensilvania        | La Palma Camelia       | 985<br>1.987   | 41               | 7    | 44    | -    | -   | -    | 3 m a 6 años  | -   | 67   | 18                           | 48 | 26 | -  |
| Cauca              | Santander de Quilichao    | San Isidro             | 1.450          | 43               | -    | 57    | -    | -   | -    | 4 m a 2 años  | 43  | 29   | 28                           | 29 | 71 | -  |
|                    | Toribio                   | El Pedregal            | 1.894          |                  |      |       |      |     |      |               |     |      |                              |    |    |    |
| C/marca            | Farallones                | La Mesa de los Santos  | 655            | 3                | 27   | 67    | -    | -   | 3    | 2 m a 8 años  | 18  | 46   | 33                           | 61 | 18 | 13 |
|                    | Quilipe                   | Las Palmas             | 1.750          |                  |      |       |      |     |      |               |     |      |                              |    |    |    |
| Norte de Santander | El Zulia Gramalote        | El Venado El Socorro   | 1.000<br>1.923 | 24               | 47   | 21    | 3    | -   | -    | 2 m a 23 años | 21  | 11   | 57                           | 76 | 3  | 3  |
| Risaralda          | Marsella Marsella         | Esperancita La Venecia | 1.180<br>1.704 | -                | 56   | 41    | -    | 1   | -    | 3 m a 10 años | -   | 81   | 5                            | 22 | 34 | -  |
| Santander          | Charalá Guavatá           | Cañaverales San Jorge  | 1.338<br>1.846 | 29               | 59   | 12    | -    | -   | -    | 5 m a 8 años  | 35  | 12   | 53                           | 71 | -  | -  |
| Tolima             | Mariquita Líbano          | La Pradera Santa Rita  | 1.170<br>1.605 | 10               | 10   | 80    | -    | -   | -    | 5 m a 2 años  | 10  | 90   | -                            | 80 | 20 | -  |

Cat.: Caturra, Col.: Colombia, Cast.: Castillo, C.R.: Costa Rica, Tip.: Típica, F: Finca, Co: Comunitario, Cm: Comercial



**Figura 1.**  
Promedio del porcentaje de árboles afectados por cochinillas en los siete departamentos evaluados.

El género más predominante en los departamentos evaluados fue *Puto*, el cual se encontró en el 86% de los árboles infestados muestreados (Tabla 2), y al cual se le relacionaron los mayores daños causados a las raíces (Figura 2). Le siguen en su orden *Neochavesia* en el 7% de los árboles infestados; *Dysmicoccus* (2,2%), *Geococcus* (1,6%), *Rhizoecus* (0,66%) y *Pseudococcus* (2,54%). Este último género de cochinilla ocasiona graves daños en las plantas, ya que se enquistas por la asociación simbiótica con el hongo *Septobasidium* sp. (15) (Figura 3). Dados los resultados de predominancia de las cochinillas harinosas en este estudio, deben considerarse como limitantes o potenciales para la producción de café en Colombia, los géneros *Puto* y *Neochavesia*. Por esto, a nivel de especie se determinaron las siguientes cochinillas: *Puto barberi* y *Neochavesia caldasiae* (Muestras Museo Entomológico Marcial Benavides- MEMB 19.692 a MEMB 19.698).

Las evaluaciones complementarias realizadas en los árboles de los lotes afectados, como la proporción media de árboles con presencia de hojas amarillas, síntoma asociado al ataque de la plaga, indican valores que

se encuentran, en la gran mayoría de los departamentos (excepto Cundinamarca), por debajo de la proporción de árboles con presencia de cochinillas harinosas (Tabla 3), lo que sugiere que existen árboles aparentemente sanos que se encuentran infestados. Esto dificulta el diagnóstico y retrasa las decisiones de manejo. Estos resultados deben ser considerados en el momento de decidir un manejo fitosanitario del cultivo, ya que se podría controlar en árboles infestados sin síntomas visibles.

Las evaluaciones realizadas a los árboles de los lotes afectados muestran presencia de nematodos fitopatógenos, llagas radicales y malformaciones de las raíces (Tabla 3), como otras causas de los síntomas de amarillamiento, lo cual dificulta el diagnóstico fitosanitario. Se requiere de nuevas investigaciones que permitan concluir que la presencia de llagas radicales puede verse favorecida por el ataque de las cochinillas harinosas.

Igualmente, se encontraron insectos escamas de la familia Coccidae atacando raíces de café en los municipios de Cucutilla (Finca Naranjal), Arboledas (Fincas Vega Bonita, El alumbre y El Cedro), Labateca

**Tabla 2.** Géneros de cochinillas registrados en los departamentos de Caldas, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima (N=30) y porcentaje de árboles afectados por lote ( N=30).

| Departamento       | <i>Puto</i> | <i>Dysmicoccus</i> | <i>Neochavesia</i> | <i>Geococcus</i> | <i>Rhizoecus</i> | <i>Pseudococcus</i> |
|--------------------|-------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|
| Caldas             | 85,29       | 2,69               | 3,34               | 1,02             | 1,03             | 0,52                |
| Cauca              | 100,00      | 2,33               | 0,00               | 2,00             | 0,00             | 0,00                |
| Cundinamarca       | 94,86       | 1,79               | 0,94               | 0,00             | 0,09             | 1,52                |
| Norte de Santander | 93,48       | 1,83               | 9,24               | 0,41             | 0,00             | 2,90                |
| Risaralda          | 64,64       | 2,84               | 23,67              | 0,74             | 0,70             | 9,60                |
| Santander          | 87,60       | 1,53               | 13,00              | 0,34             | 0,28             | 1,80                |
| Tolima             | 76,17       | 2,44               | 0,00               | 7,30             | 2,5              | 1,50                |
| Promedio           | 86,00       | 2,20               | 7,17               | 1,60             | 0,66             | 2,54                |



**Figura 2.** Daño ocasionado por *Puto barberi* en raíces de café. Nótese ausencia de raíces secundarias.



**Figura 3.** Asociación de *Pseudococcus* sp. con el hongo *Septobasidium* sp. nótese crecimiento del basidio en la base del cuello del árbol.

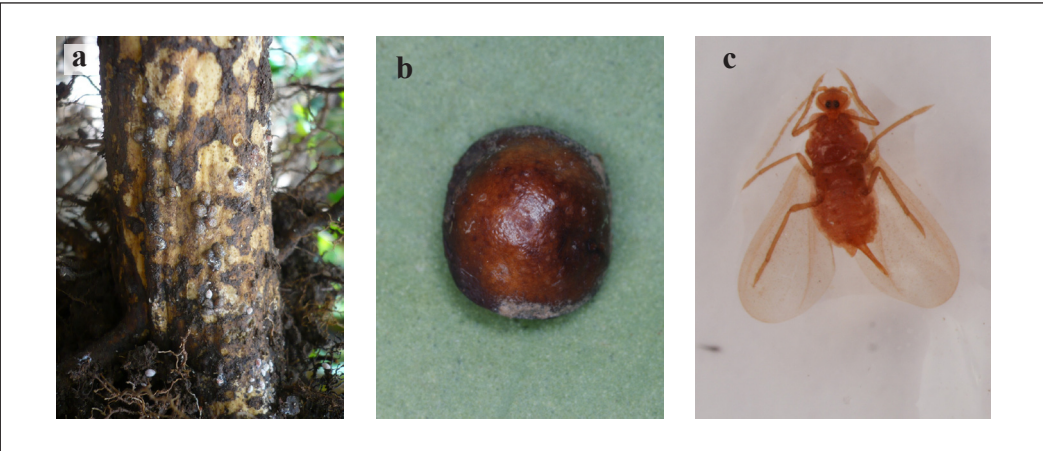
(Finca La Esperanza) y Los Patios (Finca El Milagro) (Figura 4). Estas escamas fueron clasificadas por el especialista, doctor Demian Takumasa Kondo (Corpoica, Palmira-Valle del Cauca), como una especie de insecto del

género *Toumeyella* (Hemiptera: Coccoidea: Coccidae). Se tiene la hipótesis de que este insecto haya provenido de plantaciones de café de Venezuela.

**Tabla 3.** Evaluaciones complementarias de presencia de llagas, nematodos y malformaciones de la raíz. Promedios e intervalos de confianza a partir de 900 árboles evaluados por departamento.

| Departamento        | Llagas |       |      |       | Nematodos |      | Malformaciones de la raíz |       |       |
|---------------------|--------|-------|------|-------|-----------|------|---------------------------|-------|-------|
|                     | L.S.   | X     | L.I. | L.S.  | X         | L.I. | L.S.                      | X     | L.I.  |
| Caldas              | 4,42   | 2,31  | 0,20 | 3,40  | 1,28      | 0,08 | 19,57                     | 10,90 | 2,23  |
| Cauca               | 9,24   | 3,33  | 2,57 | 2,46  | 0,95      | 0,55 | 31,34                     | 16,19 | 1,04  |
| Cundinamarca        | 7,41   | 4,36  | 1,31 | 9,81  | 4,96      | 0,10 | 21,52                     | 16,75 | 11,98 |
| Norte de Santander. | 19,59  | 12,61 | 5,64 | 11,00 | 6,31      | 1,61 | 44,51                     | 35,99 | 27,47 |
| Risaralda           | 6,00   | 3,58  | 1,16 | 10,98 | 7,04      | 3,09 | 47,83                     | 35,19 | 22,54 |
| Santander           | 21,40  | 8,23  | 4,94 | 17,52 | 8,13      | 1,27 | 48,53                     | 32,71 | 16,88 |
| Tolima              | 30,69  | 13,67 | 3,36 | 35,38 | 16,67     | 2,04 | 50,51                     | 29,33 | 8,16  |

L.S.: Límite superior; X: Promedio; L.I.: Límite inferior.



**Figura 4.** a. Presencia de hembras de la escama *Toumeyella* sp. en raíces de café de Norte de Santander; b. y c. Adulto hembra y macho de la escama.

Los resultados encontrados en este estudio permiten concluir que *Puto barberi* es la especie de cochinillas harinosas que más afecta las raíces de los árboles de café en las localidades de estudio. Este trabajo deberá ser complementado con muestreos en los restantes departamentos cafeteros de Colombia,

con el fin de confirmar estos hallazgos. Mientras esto ocurre, se deberán concentrar los mayores esfuerzos de investigación en el estudio de la biología y hábitos de esta especie, así como explorar estrategias de control dentro de un manejo integrado que involucre un muestreo destructivo sobre plantas

indicadores en cafetales nuevos, la protección fitosanitaria del cultivo durante el almácigo y el establecimiento del cultivo, en un tiempo al menos de un año después de la siembra de las plantas en los sitios definitivos. Para esto se deberán usar insecticidas químicos en aspersiones localizadas dirigidas a las raíces de los árboles, tantas veces como se encuentren poblaciones vivas en las raíces. Estas actividades deberán ser acompañadas con un programa adecuado de fertilización.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la doctora Esther Cecilia Montoya por su acompañamiento en los análisis estadísticos. Igualmente agradecen a los Extensionistas de los departamentos de Caldas, Cauca, Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Tolima y Risaralda, y a los auxiliares de la Disciplina de Entomología de Cenicafé, especialmente a Mauricio Jiménez. Esta investigación fue realizada con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia dentro del experimento ENT1917.

## LITERATURA CITADA

1. BENAVIDES, M.; CÁRDENAS, R. Hormigas de Amagá y de la Esperanza. Chinchiná: CENICAFE, 1997. 4 p. (Avances Técnicos No. 69).
2. CÁRDENAS M., R.; BENAVIDES G., M. La palomilla del cafeto. Chinchiná: CENICAFÉ, 1973. 2 p. (Avances Técnicos No. 29).
3. -----, La palomilla de las ramas del cafeto *Planococcus citri* (Riso) (Homoptera: Pseudococcidae). Chinchiná: CENICAFÉ, 1985. 2p. (Avances Técnicos No. 125).
4. -----; POSADA F., F.J. Los insectos y otros habitantes de cafetales y platanales. Armenia: Comité departamental de cafeteros del Quindío: CENICAFE, 2001. 250 p.
5. ENFERMEDADES de las plantas. Revista cafetera de Colombia 1(2): 95. 1928.
6. LAPLAGA de la palomilla que ataca los cafetales. Revista cafetera de Colombia 3(25): 902-903. 1931.
7. FNC. LAS PLAGAS del cafeto: La palomilla. p. 344-350. En: Manual del cafetero colombiano.
8. MURILLO, L.M. Los parásitos el café en el departamento de Antioquia. Revista cafetera de Colombia 3(23): 943. 1931.
9. POSADA O., L.; ZENNER DE P., I.; SILDARRIAGA V., A.; GARCÍA R., F.; CÁRDENAS M., R. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. Bogotá: ICA, 1970. 2022 p.
10. RAMOS, A.; SERNA, F. Coccoidea de Colombia, con énfasis en las cochinillas harinosas. Revista facultad de agronomía Universidad Nacional de Colombia 57(2): 2383-2412. 2004.
11. -----, Chinchas harinosas (Hemiptera: Pseudococcidae y Putoidae) en cinco cultivos de la región Andina colombiana. Bogotá: Universidad de Colombia. Facultad de Agronomía, 2006. 105 p. Tesis: Magister en ciencias agrarias énfasis en entomología.
12. ROBA, R.P. Hormiga de Amagá. Revista cafetera de Colombia 6(80/87):2023- 2934. 1936.
13. VILLEGAS G., C.; BUSTILLO P., A.E.; ZABALA E., G.; BENAVIDES M., P.; RAMOS P., A.A. Cochinillas harinosas en cafetales colombianos. p. 342-354. En: BUSTILLO P., A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná: FNC: CENICAFÉ, 2008. 466 p.
14. -----, VILLEGAS G., C.; BENAVIDES M., P.; ZABALA E., G.A.; RAMOS P., A.A. Cochinillas harinosas asociadas a las raíces del café: descripción y biología. Chinchiná: CENICAFÉ, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 386).
15. -----, VILLEGAS G., C.; ZABALA E., G.A.; RAMOS P., A.A.; BENAVIDES M., P. Identificación y hábitos de cochinillas harinosas asociadas a las raíces del café en el Quindío. Cenicafé 60(4):362-373. 2009.
16. WILLIAMS, D.J.; GRANARA DE W., M. Mealybugs of central and south America. Cambridge: CAB Internacional, 1992. 635 p.

# PRODUCCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ

Nelson Rodríguez-Valencia\*; Diego Antonio Zambrano-Franco\*

---

## RESUMEN

**RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Producción de alcohol a partir del mucílago de café. Revista Cenicafé 62 (1): 56-69. 2011**

Para conocer los rendimientos de la obtención de alcohol a partir del mucílago de café y determinar la factibilidad técnica y económica del proceso productivo, se caracterizó el mucílago proveniente de un desmucilagador mecánico, operado con un flujo de agua de 550 ml.min<sup>-1</sup>. Se evaluaron 16 tratamientos, en un diseño completamente aleatorio en arreglo factorial 4x4, con cuatro tipos de hidrólisis (natural, ácida, alcalina y enzimática) y cuatro inóculos de la levadura *Sachharomyces cerevisiae* (presente de forma natural en el mucílago, dos levaduras prensadas comerciales y una levadura seca comercial), para favorecer los procesos de hidrólisis y fermentación del mucílago de café. El mucílago se utilizó con menos de dos horas de generado; la hidrólisis ácida se realizó con ácido sulfúrico 0,2 mol.L<sup>-1</sup>, la hidrólisis alcalina con hidróxido de sodio 0,25% y la hidrólisis enzimática con una enzima pectinolítica a una concentración de 1.200 ppm. La hidrólisis del mucílago no mejoró los rendimientos del proceso de producción de alcohol. No hubo diferencias significativas entre los rendimientos de alcohol con las levaduras comerciales evaluadas en los tratamientos sin hidrólisis, que mostraron el mayor promedio de rendimiento. La solución mucílago-agua representó el 25,24% del peso del fruto fresco, obteniendo para el tratamiento mucílago sin hidrolizar e inoculado con levaduras comerciales, un valor de 57,90 ml de alcohol por kilogramo de mucílago sin diluir, con 98,60% de etanol en promedio. Los residuos de la destilación representaron el 44,42% del volumen inicial puesto a destilar, con una DQO media de 119.689 ppm, generándose 11 L de vinazas por cada litro de etanol obtenido.

**Palabras clave:** Biocombustibles, alcohol carburante, subproductos del café, fermentación alcohólica.

---

## ABSTRACT

The mucilage coming from a mechanical demucilager operated with a water flow of 550 ml.min<sup>-1</sup> was characterized in order to know the yields of obtaining alcohol from coffee mucilage and determine the technical and economic feasibility of the production process. Sixteen treatments were evaluated in a completely randomized 4x4 factorial arrangement with four types of hydrolysis (natural, acidic, alkaline and enzymatic), and four yeast inocula *Sachharomyces cerevisiae* (naturally present in the mucilage, two commercial pressed yeasts and a commercial dry yeast) to promote the processes of hydrolysis and fermentation of coffee mucilage. The mucilage was used with less than two hours of generation; the acid hydrolysis was performed with sulfuric acid 0.2 mol.L<sup>-1</sup>, alkaline hydrolysis with sodium hydroxide 0.25% and the enzymatic hydrolysis with a pectinolytic enzyme concentration of 1,200 ppm. The hydrolysis of the mucilage did not improve the yields of alcohol production process. There were no significant differences between the yields of alcohol with commercial yeasts evaluated in treatments without hydrolysis that showed the highest average performance. The mucilage-water solution represented 25.24% of the weight of fresh fruit, obtaining mucilage unhydrolyzed and inoculated with commercial yeasts with a value of 57.90 ml of alcohol per kg of undiluted mucilage, with 98.60% of ethanol on average for the treatment. The destillation residues represented 44.42% of the initial volume placed destil, with an average COD of 119,689 ppm, generating 11 L of vinasse per liter of ethanol produced.

**Keywords:** Biofuels, fuel alcohol, coffee byproducts, alcoholic fermentation.

---

\* Investigador Científico II. Gestión de Recursos Naturales y Conservación y Calidad, respectivamente. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Las nuevas reglamentaciones en el ámbito ambiental, tanto nacional como internacional, propenden porque el productor se responsabilice de la buena disposición y tratamiento de los residuos que se generen en su proceso productivo (sólidos, líquidos y gaseosos), de forma que no ocasionen impactos ambientales adversos para el ecosistema, a la vez que buscan minimizar la generación de los gases tipo invernadero, por su efecto sobre el calentamiento global del planeta, entre los que se destacan los óxidos de nitrógeno y de azufre, provenientes de la combustión de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo.

En la zona cafetera se generan subproductos como la pulpa y el mucílago de café obtenidos durante el beneficio del fruto, que de no ser tratados de forma apropiada se convierten en importantes fuentes de contaminación, pero que podrían ser utilizados para la producción de alcohol carburante, con dos propósitos: evitar la contaminación ambiental en la zona cafetera y producir combustibles limpios a partir de materiales renovables.

El mucílago forma parte del mesocarpio del fruto de café y puede retirarse del grano por medio de esfuerzos mecánicos, utilizando desmucilagadores (20), que permiten obtenerlo puro o en solución acuosa, sin fermentar, siendo aprovechable para la alimentación animal (15), producción de pectinas (22), producción de miel de café (26) o mediante fermentación natural, dejando el café despulpado en los tanques de lavado, durante un tiempo aproximado de 18 horas, con lo cual se degrada el mucílago, pudiéndose utilizar fermentado para la producción de biogás (23).

Desde el punto de vista físico, el mucílago es un hidrogel (28). Químicamente, el mucílago contiene agua (alrededor del 90%), pectinas (alrededor del 10% en base seca)

y azúcares totales (alrededor del 80% en base seca) (22). El mucílago representa, en base húmeda, alrededor del 14,85% del peso del fruto fresco (17). En términos de volumen, por cada kilogramo de café cereza se producen 91 ml de mucílago puro (31). Además, el promedio de la producción de mucílago fresco es de 768 kg.ha-año<sup>-1</sup> (21).

Investigaciones desarrolladas en Cenicafé permitieron calcular que el mucílago fresco, cuando no es utilizado en forma adecuada, representa el 28% del problema de contaminación generado en el proceso de beneficio húmedo del café (32). Por cada millón de sacos de 60 kg de café almendra que Colombia exporta se generan aproximadamente 55.500 toneladas de mucílago fresco, que si no se utiliza adecuadamente produciría una contaminación equivalente a la generada durante un año, en excretas y orina, por una población de 310.000 habitantes.

El bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de la fermentación, en torno al 10%-15%, concentrándose por destilación para la obtención del denominado “alcohol hidratado” (4%-5% de agua) o llegar hasta el alcohol absoluto (99,4% min. de pureza) tras un proceso específico de deshidratación. Esta última calidad es la necesaria si se quiere utilizar el alcohol en mezclas con gasolina, en vehículos convencionales, sin realizar modificaciones al motor (3).

Los primeros trabajos de investigación relacionados con la producción de alcohol a partir de los subproductos del café fueron realizados en Cenicafé, por Calle (7), utilizando desmucilaginado químico con hidróxido de sodio al 4% y fermentación con *Sachharomyces cerivisiae*. Después de 210 destilaciones realizadas a partir de los subproductos provenientes de 200 kg de café, Calle (7) obtuvo un rendimiento industrial de 1 L

de alcohol de 90°GL por cada arroba (@) de café pergamino seco (c.p.s.) producida, equivalente a 1,5 L de etanol por cada 100 kg de café cereza.

Calle (6), estudió las condiciones para la obtención de alcohol a partir de la pulpa y el mucílago de café, encontrando que de los subproductos generados en el beneficio de 100 kg de café cereza pueden obtenerse en promedio 1,2 L de alcohol etílico de 85°GL, equivalente a 0,6 L de etanol por cada arroba de café pergamino seco. En otro estudio, Cabrera *et al.* (5), reportan la obtención entre 2,0 a 2,5 g de etanol en 48 horas, cuando la fermentación se realiza a 28°C, a partir de 200 g de cerezas frescas, lo que equivale a un volumen de 0,95 L de etanol por cada arroba de café pergamino seco; igualmente, reportan mejoras en los rendimientos del proceso en un 20%, en 48 horas, cuando realizaron un pretratamiento con una bacteria pectinolítica como *Erwinia herbicola* en asocio con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

Krshnamoorthy y Deepak, citados por Cabrera *et al.* (5), reportan valores entre 3 a 4 g de etanol por cada 100 ml de mucílago, equivalente entre 38 y 51 ml de etanol por cada litro de mucílago. Loke *et al.* (14), utilizando el mucílago de café para la producción de bioetanol adicionando 1% de levadura y fermentando a 35°C, encontraron rendimientos del 5%, equivalente a 50 ml de etanol por cada litro de mucílago fresco.

En enero de 2005, Colombia comenzó a mezclar la gasolina con 10% de alcohol carburante extraído de la caña de azúcar, y planea aumentar gradualmente ese porcentaje hasta llegar al 25% en 20 años. Hasta ahora, el millón de litros diarios de alcohol carburante que se genera en los cinco ingenios del Valle, sólo abastece a Bogotá y al Sur y Occidente del país, pero deberá elevarse en 500.000 litros más para cubrir otras regiones (18).

El propósito de la investigación fue determinar los rendimientos de producción de etanol a partir del mucílago obtenido durante el proceso de beneficio del fruto de café variedad Colombia, y determinar su potencial para la producción de bioetanol de segunda generación, de forma que se contribuya a diversificar la matriz energética nacional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el laboratorio de Biodigestión de la Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental de Cenicafe, en La Granja, a una altitud de 1.310 m (12).

Los materiales utilizados fueron:

**Mucílago de café.** Obtenido del beneficio de 150 kg de café cereza, variedad Colombia, sin seleccionar, en un equipo Becolsub 300, dotado de un desmucilagador mecánico operado con un caudal de agua de 550 ml/min.

**Microorganismos.** Se emplearon tres cepas comerciales de *Sachharomyces cerivisiae* Prensada 1 (P1), Prensada 2 (P2) y seca (S), y una enzima comercial pectinolítica (EP). Las dos levaduras prensadas correspondieron a dos marcas comerciales que existen en el mercado.

**Tratamientos.** Se evaluaron 16 tratamientos, cuatro tipos de hidrólisis (natural, ácida, alcalina y enzimática) y cuatro tipos de inóculo (natural, levadura prensada 1, levadura prensada 2 y levadura seca).

**Unidad experimental.** Estuvo conformada por una muestra de mucílago fresco de 1 L. Cada tratamiento estuvo constituido por seis unidades experimentales. Las unidades experimentales se asignaron a los tratamientos con mucílago, de acuerdo con el diseño experimental completamente aleatorio, en arreglo factorial 4 x 4.

Como hipótesis de trabajo se estableció: “Con la hidrólisis enzimática del mucílago del café seguida de una fermentación con adición de levaduras se obtienen rendimientos de etanol superiores a 50 ml/L de mucílago”.

Condiciones de proceso:

- Se utilizó mucílago fresco, con menos de 2 horas de obtenido.
- La hidrólisis ácida se realizó con ácido sulfúrico, a una concentración de 0,2 mol. L<sup>-1</sup> (equivalente a 11 ml.L<sup>-1</sup> de mucílago), y se adicionó Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> al 1,5% p/v (15 g.L<sup>-1</sup> de mucílago), de acuerdo a lo reportado por Rodríguez (22). Posteriormente, la muestra se introdujo en un autoclave a 121°C, durante 20 min, de acuerdo a lo reportado por Yu y Zhang (29).
- La hidrólisis alcalina se realizó con hidróxido de sodio al 32%, a una concentración de 0,25% peso/volumen (se adicionaron 7,8 ml.L<sup>-1</sup> de mucílago), y con Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> al 0,75% peso/volumen (se adicionaron 7,5 g.L<sup>-1</sup> de mucílago), de acuerdo a lo reportado por Rodríguez (22). El mucílago se calentó a temperatura de ebullición, durante 60 min, de acuerdo a lo registrado por Domenech (9).
- La hidrólisis enzimática se realizó adicionando 1 ml de enzima pectinolítica por cada litro de mucílago (concentración final de 1.200 ppm), de acuerdo a las recomendaciones de la casa fabricante, con un pH recomendado en el rango 4,5 a 5,5 y durante 60 minutos se sometió a una temperatura de 75°C, luego se dejó a temperatura ambiente, durante 8 horas (25).
- Finalizada la etapa de hidrólisis, el pH se ajustó a un valor de 5,0 ± 0,5 (10) utilizando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio, y se adicionaron las cepas de

levadura a una proporción de 2,5% p/v, para las levaduras prensadas (25), y del 1% p/v para la levadura seca (recomendación de la casa fabricante), a una temperatura de incubación de 30°C (10).

- En el proceso de destilación se adicionó aceite vegetal al 0,1% v/v, como antiespumante.
- La agitación de las unidades experimentales fue manual, seis veces al día (25).
- El tiempo de fermentación alcohólica se fijó en 15 horas (25).

**Beneficio del café cereza.** Se utilizaron muestras de 150 kg de café cereza variedad Colombia sin seleccionar, proveniente de la Estación Central Naranjal. Una vez recibido el café cereza, inmediatamente se inició el proceso de beneficio, y el mucílago obtenido se tamizó a través de una malla mosquitera para eliminar pulpa, cascarilla y granos presentes en el mismo.

**Fermentación alcohólica.** Al mucílago se le determinaron los grados Brix, Gravedad Específica (GE) y pH, de acuerdo con la metodología reportada por Ríos (19), y para aquellos tratamientos que lo requerían, se realizó la hidrólisis de los compuestos pécticos y se ajustó el pH (cuando se requirió). De las muestras se transvasaron 950 ml en balones de vidrio, mientras que los 50 ml restantes se utilizaron para aclimatar la levadura a la temperatura de fermentación. Luego, se adicionó el inóculo al balón y se homogeneizó con la ayuda de un agitador mecánico, se taparon los balones con papel de aluminio y se fermentaron las muestras durante 15 horas (Figura 1).

**Destilación simple.** Al final del proceso de fermentación, se tomaron 50 ml de muestra para análisis (pH, GE y Brix) (19) y los 950 ml restantes se llevaron a un proceso

de destilación simple (Figura 2). Al destilado se le determinó el grado alcohólico, con la ayuda de un hidrómetro, el cual proporciona el valor del contenido de alcohol en porcentaje volumen/volumen, de acuerdo con el método 957.03 de la AOAC (1).

Con el volumen del destilado y los grados alcohólicos se determinó la cantidad de alcohol obtenido en el proceso de fermentación, por cada litro de la solución agua-mucílago.



**Figura 1.** Fermentación alcohólica del mucílago.



**Figura 2.** Destilación simple del fermentado.

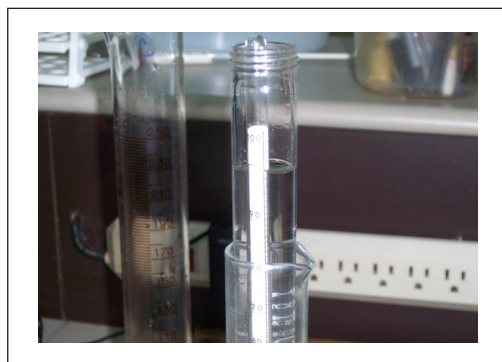
**Rectificación del alcohol.** Las muestras provenientes de la destilación simple, se reunieron por tratamiento, y se llevaron a procesos de rectificación, utilizando inicialmente una columna Vigreux de 40 mm de diámetro y 50 cm de longitud, y posteriormente en una columna empacada con anillos Rashing.

**Deshidratación del alcohol.** Los destilados de la rectificación se pasaron por tamices moleculares, con un tamaño de 4A° para obtener el alcohol deshidratado (Figura 3).

**Determinación del contenido de etanol.** Para la determinación del contenido de etanol en las muestras rectificadas y deshidratadas se utilizó el método del hidrómetro (Figura 4) y se comparó con el método del picnómetro (Método 942.06 de la AOAC) (1). Con los valores de densidad y las Tablas donde se relaciona la densidad de soluciones de etanol saturado de aire y agua según la temperatura (8), basadas en Spieweck y Bettin (24), se determinó el contenido de etanol en porcentaje v/v y luego en porcentaje p/p de



**Figura 3.** Deshidratación del alcohol.



**Figura 4.** Determinación del grado alcohólico.

las muestras compuestas de alcohol obtenidas de los diferentes tratamientos evaluados para la solución agua-mucílago.

De igual manera para conocer los compuestos presentes en las muestras de alcohol se utilizó la técnica de la cromatografía gaseosa. El equipo utilizado fue un Cromatógrafo de Gases Hewlett Packard 6850, equipado con detector de ionización de llama (FID). Tipo de Columna: Columna DB624 de 75 metros de longitud, con un diámetro de 530 micras y una película de espesor de 0,3 micras.

**Vinazas.** Para la caracterización de las vinazas obtenidas en el proceso de destilación se realizaron análisis de pH (método potenciométrico, empleando como sensor un electrodo combinado Referencia InLab 413SG); Sólidos Totales (método gravimétrico) (2) y Demanda Química de Oxígeno (método de reflujo cerrado, método colorimétrico) (13).

**Análisis estadístico.** La variable respuesta seleccionada fue la producción de alcohol y como variables complementarias se seleccionaron el pH, la gravedad específica y los grados brix. Para cada tratamiento se estimaron el promedio y la desviación estándar, tanto para la variable de respuesta como las complementarias. Se aplicó un análisis de

varianza al 5%, con la variable de respuesta, bajo el diseño experimental propuesto, y se seleccionó la mejor combinación hidrólisis x inóculo fermentativo, de acuerdo con una prueba de contraste al 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Condiciones climáticas.** Durante el período en que se realizó la experimentación, las condiciones climáticas fueron: promedio de temperatura de 21,2°C, humedad relativa 81,0%, precipitación 3.090,2 mm y 1.565,6 horas de brillo solar (12).

**Beneficio del fruto de café.** El promedio, en cinco muestras de café cereza beneficiado, para la solución agua-mucílago proveniente del desmucilaginator mecánico, fue el 31,91% del peso del fruto fresco y un promedio de tiempo de beneficio de 40,6 min. Después de pasar la solución agua-mucílago por una malla mosquitera (para retirar material sólido que lo acompañaba), el promedio del peso fue 25,24% del peso del fruto fresco, con un valor medio de 9,66 °Brix, una gravedad específica media de 1,18 y un valor medio de pH de 4,84.

**Proceso de destilación.** En la Tabla 1 se presentan los valores promedios de alcohol obtenido en la destilación simple de un litro de mucílago procesado, para cada uno de los tratamientos evaluados, junto con su desviación estándar y el coeficiente de variación. Los valores obtenidos se estimaron a partir de la determinación del grado alcohólico del destilado.

No hubo diferencias significativas entre los rendimientos de alcohol obtenidos con las diferentes levaduras evaluadas para los tratamientos sin hidrólisis, para los tratamientos con hidrólisis ácida, para los tratamientos con hidrólisis alcalina y para

**Tabla 1.** Alcohol obtenido por cada litro de solución agua-mucílago, en los tratamientos evaluados.

| Tratamiento | Identificación                               | Promedio*<br>(ml de alcohol) | Desviación<br>estándar | C.V. (%) |
|-------------|----------------------------------------------|------------------------------|------------------------|----------|
| 1           | Fermentación natural                         | 6,39 e                       | 0,48                   | 7,45     |
| 2           | Levadura prensada 1                          | 39,94 a                      | 4,79                   | 12,00    |
| 3           | Levadura prensada 2                          | 40,32 a                      | 4,79                   | 11,89    |
| 4           | Levadura seca                                | 40,12 a                      | 6,14                   | 15,30    |
| 5           | Hidrólisis ácida + Fermentación natural      | 4,50 e                       | 1,97                   | 43,87    |
| 6           | Hidrólisis ácida + Levadura prensada 1       | 30,32 bcd                    | 2,36                   | 7,78     |
| 7           | Hidrólisis ácida + Levadura prensada 2       | 29,01 cd                     | 2,42                   | 8,33     |
| 8           | Hidrólisis ácida + Levadura seca             | 28,25 d                      | 2,52                   | 8,92     |
| 9           | Hidrólisis alcalina+ Fermentación natural    | 2,75 e                       | 2,73                   | 99,12    |
| 10          | Hidrólisis alcalina + Levadura prensada 1    | 40,78 a                      | 9,89                   | 24,26    |
| 11          | Hidrólisis alcalina + Levadura prensada 2    | 34,19 abcd                   | 3,21                   | 9,39     |
| 12          | Hidrólisis alcalina + Levadura seca          | 40,48 a                      | 5,94                   | 14,68    |
| 13          | Hidrólisis enzimática + Fermentación natural | 2,93 e                       | 1,59                   | 54,13    |
| 14          | Hidrólisis enzimática + Levadura prensada 1  | 37,66 abc                    | 3,45                   | 9,15     |
| 15          | Hidrólisis enzimática + Levadura prensada 2  | 38,35 ab                     | 6,85                   | 17,88    |
| 16          | Hidrólisis enzimática + Levadura seca        | 39,91 a                      | 3,73                   | 9,34     |

(\*) Valor promedio de seis réplicas. Promedios con la misma letra no presentaron diferencias significativas, según la prueba de Tukey con nivel de significancia del 95%.

los tratamientos con hidrólisis enzimática. Los mayores coeficientes de variación se presentaron para los tratamientos sometidos a hidrólisis y sin inoculación de levaduras, los cuales fueron superiores al 43%, influenciado probablemente, por los tratamientos térmicos a los cuales fueron sometidas las muestras que ocasionaron una disminución en los microorganismos naturales del mucílago. Los demás tratamientos tuvieron coeficientes de variación menores al 25%.

Los promedios generales obtenidos por tipo de hidrólisis y utilización de levaduras comerciales, expresados en ml de alcohol/litro de solución de agua-mucílago fueron de 29,19 ml para la hidrólisis ácida, de 38,48 ml para la hidrólisis alcalina, de 38,64 ml para la hidrólisis enzimática y de 40,13 ml para los tratamientos sin hidrólisis.

En los tratamientos sin adición de levaduras no hubo diferencias significativas en los rendimientos medios de alcohol obtenido

a partir de un litro de la solución agua-mucílago (6,39 ml cuando las muestras no se sometieron a hidrólisis, 4,50 ml cuando las muestras se sometieron a la hidrólisis ácida, 2,75 ml cuando las muestras se sometieron a la hidrólisis alcalina y 2,93 ml cuando las muestras se sometieron a la hidrólisis enzimática), pero sí fueron estadísticamente diferentes de los tratamientos con adición de levaduras comerciales, lo cual era de esperarse, pues todos los tratamientos de hidrólisis estuvieron acompañados de tratamientos térmicos, lo cual disminuye significativamente la cantidad de levaduras naturales presentes en el mucílago.

Se determinó que no se presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos sin hidrólisis y los sometidos a hidrólisis alcalina y enzimática, cuando todos ellos se inoculan con levaduras comerciales, mientras que los tratamientos con hidrólisis ácida e inoculación con levaduras comerciales fueron diferentes estadísticamente de los tratamientos sin hidrólisis e inoculados

con levaduras comerciales, con los mayores rendimientos medios en la producción de etanol. Lo anterior se explica considerando la temperatura a la cual se sometieron los tratamientos para la hidrólisis, temperatura ambiente para los tratamientos sin hidrólisis inducida, 75°C para la hidrólisis enzimática, 95°C para la hidrólisis alcalina y 121°C para la hidrólisis ácida, debido a que en esta última temperatura pueden hidrolizarse azúcares reductores como la fructuosa, y a la vez se destruyen los microorganismos naturales presentes en el mucílago, lo que se traduce en menores rendimientos.

Basados en los resultados obtenidos y considerando aspectos técnicos y económicos, se recomienda no realizar hidrólisis al mucílago de café, durante la fermentación alcohólica, así como la utilización de levaduras secas instantáneas, por su mayor vida útil respecto a las prensadas, como inóculo en el proceso de fermentación alcohólica del mucílago de café.

**Rectificación del alcohol:** Los destilados simples de cada tratamiento se reunieron en dos muestras para su rectificación. En la columna Vigreux se obtuvieron destilados que permitieron recuperar el 89,06% del alcohol presente en los destilados simples ( $n=33$ ,  $CV= 11,06\%$ ), con colas de contenido alcohólico del 2,1°Gl ( $n=33$ ,  $CV= 31,36\%$ ); posteriormente, en la columna empacada con anillos Rashing se obtuvieron destilados que permitieron recuperar el 96,85% del alcohol presente en los destilados provenientes de la columna Vigreux ( $n=36$ ,  $CV= 2,54\%$ ), con colas de contenido alcohólico del 2,7°Gl ( $n=36$ ,  $CV= 48,88\%$ ). En el proceso de rectificación combinado (Vigreux + Rashing) se recuperó el 86,20% del alcohol sentido por hidrometría en los destilados simples.

El balance de materia global del alcohol permitió calcular, después de analizar los

contenidos alcohólicos en los destilados y colas obtenidos en la etapa de rectificación, una recuperación del 99,49% del alcohol medido (valor promedio de 73 análisis,  $CV = 8,72\%$ ), mediante hidrometría en los destilados simples, de esta manera se comprobó la confiabilidad en esta técnica para evaluar el contenido alcohólico.

#### **Determinación del contenido de etanol:**

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la densidad, porcentaje en volumen de etanol en la solución alcohólica y porcentaje en peso de etanol en la solución alcohólica, para las muestras de alcohol rectificadas y deshidratadas. En promedio, el 98,40% ( $n = 13$ ;  $CV = 1,98\%$ ) del alcohol evaluado por hidrometría correspondió a etanol. En los tratamientos 5, 9 y 13, sometidos a hidrólisis ácida, alcalina y enzimática, respectivamente, y sin inoculación con levaduras comerciales, no se detectó presencia de alcohol en los destilados obtenidos.

Las muestras de alcohol obtenido por cada tratamiento, después de la deshidratación, se caracterizaron por la técnica de cromatografía de gases para identificar los compuestos presentes en las mismas (Tabla 3).

El promedio de etanol encontrado, por la técnica del picnómetro, fue de 93,65% v/v ( $n = 13$ ;  $CV = 4,06\%$ ) y de 90,72% p/p ( $n = 13$ ;  $CV = 5,89\%$ ), mientras que por la técnica cromatográfica fue de 97,74% p/p ( $n = 13$ ;  $CV = 1,08\%$ ).

Lo anterior muestra que la técnica de la gravedad específica permitió determinar el contenido de etanol en la muestra alcohólica, con un error medio, al compararla con la técnica cromatográfica, menor al 7,7%.

Los análisis cromatográficos mostraron como principales compuestos asociados al etanol, en orden de importancia, el metanol,

**Tabla 2.** Contenido de etanol en muestras rectificadas y deshidratadas provenientes del mucílago de café.

| Tmto. | Identificación                              | Grado Alcohólico (°Gl) | Densidad (A 15°C) (g/L) | Porcentaje de etanol (v/v) | Porcentaje de etanol (p/p) |
|-------|---------------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|
| T1    | Fermentación natural                        | 97,0                   | 816,05                  | 95,2                       | 92,7                       |
| T2    | Levadura prensada 1                         | 100,0                  | 802,63                  | 98,6                       | 97,7                       |
| T3    | Levadura prensada 2                         | 100,0                  | 800,13                  | 99,2                       | 98,7                       |
| T4    | Levadura seca                               | 100,0                  | 801,70                  | 98,8                       | 98,1                       |
| T6    | Hidrólisis ácida + Levadura prensada 1      | 94,5                   | 830,65                  | 91,0                       | 87,0                       |
| T7    | Hidrólisis ácida + Levadura prensada 2      | 92,0                   | 838,02                  | 88,7                       | 84,0                       |
| T8    | Hidrólisis ácida + Levadura seca            | 93,0                   | 834,73                  | 89,7                       | 85,3                       |
| T10   | Hidrólisis alcalina + Levadura prensada 1   | 90,0                   | 832,64                  | 90,4                       | 86,2                       |
| T11   | Hidrólisis alcalina + Levadura prensada 2   | 90,5                   | 821,89                  | 93,6                       | 90,4                       |
| T12   | Hidrólisis alcalina + Levadura seca         | 92,5                   | 834,29                  | 89,9                       | 85,5                       |
| T14   | Hidrólisis enzimática + Levadura prensada 1 | 94,0                   | 827,98                  | 91,8                       | 88,0                       |
| T15   | Hidrólisis enzimática + Levadura prensada 2 | 94,0                   | 823,77                  | 93,1                       | 89,8                       |
| T16   | Hidrólisis enzimática + Levadura seca       | 99,8                   | 807,75                  | 97,4                       | 95,9                       |
|       |                                             |                        | Promedio                | 93,65                      | 90,72                      |
|       |                                             |                        | Desv. Est.              | 3,81                       | 5,34                       |
|       |                                             |                        | C.V. (%)                | 4,06                       | 5,89                       |

que tuvo porcentajes mayores al 3% cuando las muestras no se hidrolizaron y cuando no se inocularon con levaduras comerciales. El metanol tuvo porcentajes menores al 1%, cuando no se realizó la hidrólisis del mucílago y también cuando se realizó la hidrólisis alcalina, y en ambos casos, se adicionaron levaduras comerciales y entre el 1% y 2%, cuando se realizó la hidrólisis ácida y enzimática, ambas con la adición de las levaduras comerciales.

Además, se registró el etilacetato y el isobutanol (en valores menores al 1%), cuando las muestras no se hidrolizaron y tampoco se inocularon con levaduras comerciales. La adición de levaduras comerciales en los tratamientos sin hidrólisis, permitió incrementar los contenidos de etanol. Para estos tratamientos los contenidos de isobutanol, propanol, etilacetato y alcohol isoamílico, mostraron valores menores al 1%. La hidrólisis ácida favoreció la formación de acetaldehído en valores cercanos al 1%. Los contenidos de

etilacetato, isobutanol y alcohol isoamílico, fueron menores al 1%. La hidrólisis alcalina favoreció la formación de acetaldehído, isobutanol, alcohol isoamílico y propanol con valores menores al 1%; mientras que la hidrólisis enzimática favoreció la formación de isobutanol, alcohol isoamílico y propanol con valores menores al 1%.

El metanol se produce por la desmetilación enzimática de las pectinas presentes en el mucílago de café, cuyo contenido en base seca está alrededor del 10%, por lo que se favorece la producción de este alcohol. El butanol se produce por la fermentación de azúcares por acción de microorganismos como *Clostridium acetobutylicum* y *Escherichia coli*, esta última se ha encontrado de forma natural en el mucílago de café (4). El etilacetato se forma por la acción de levaduras diferentes a *Saccharomyces*, y que forman parte de los microorganismos presentes de forma natural en el mucílago (*Candida* sp., *Rhodotorula* sp., *Toruplosis* sp.) (4), cuya acción se inhibe

**Tabla 3.** Análisis cromatográfico del alcohol obtenido a partir de mucílago de café.

| Compuesto            | Mucílago sin hidrólisis |                     |                     |               | Hidrólisis ácida     |                     |               |
|----------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------------------|---------------|
|                      | Fermentación natural    | Levadura prensada 1 | Levadura prensada 2 | Levadura seca | Levadura prensada 1  | Levadura prensada 2 | Levadura seca |
|                      | mg/L alcohol anhidro    |                     |                     |               | mg/L alcohol anhidro |                     |               |
|                      |                         |                     |                     |               |                      |                     |               |
| Acetaldehído         | 796,5                   | 221,2               | 96,3                | 450,7         | 5323,7               | 14.240,4            | 10.846,1      |
| Metanol              | 32.731,7                | 8.836,9             | 8.013,2             | 9.907,6       | 14.266,9             | 16.916,3            | 16.736,6      |
| Isopropanol          | 28,3                    | 5,8                 | 4,1                 | 6,8           | 20,3                 | 33,5                | 185,9         |
| Propanol             | 9,3                     | 9,9                 | 663,2               | 912,0         | 66,1                 | 89,2                | 186,9         |
| EtilAcetato          | 5.066,5                 | 387,8               | 296,6               | 684,8         | 423,2                | 975,7               | 1.027,6       |
| 2-Butanol            | 15,0                    | 3,6                 | 3,5                 | 3,9           | 8,3                  | 0,00                | 4,6           |
| Isobutanol           | 1.177,9                 | 565,8               | 572,6               | 1.299,0       | 5,3                  | 164,1               | 1.198,9       |
| Butanol              | 19,2                    | 3,1                 | 6,7                 | 17,0          | 18,2                 | 7,7                 | 11,7          |
| Isoamílico 1         | 776,3                   | 155,9               | 134,6               | 893,6         | 1.294,5              | 206,6               | 478,4         |
| Isoamílico 2         | 194,5                   | 38,6                | 42,4                | 229,7         | 234,6                | 61,7                | 88,5          |
| IsoAmilAcetato       | 0,00                    | 0,00                | 0,00                | 0,0           | 0,00                 | 0,00                | 0,00          |
| Furfural             | 0,00                    | 0,00                | 0,00                | 0,0           | 0,00                 | 0,00                | 0,00          |
| Porcentaje etanol    | 95,48                   | 98,79               | 98,81               | 98,21         | 97,48                | 96,32               | 96,46         |
| Alcoholes superiores | 2.220,5                 | 782,7               | 1.427,00            | 3.362,0       | 1.647,2              | 562,7               | 2.154,9       |
| Ésteres              | 5.066,5                 | 387,8               | 296,60              | 684,8         | 423,2                | 975,7               | 1.027,6       |
| Otros congéneres     | 796,5                   | 221,2               | 96,3                | 450,7         | 5.323,7              | 14.240,4            | 10.846,1      |

| Compuesto            | Hidrólisis alcalina  |                     |               | Hidrólisis enzimática |                     |               |
|----------------------|----------------------|---------------------|---------------|-----------------------|---------------------|---------------|
|                      | Levadura prensada 1  | Levadura prensada 2 | Levadura seca | Levadura prensada 1   | Levadura prensada 2 | Levadura seca |
|                      | mg/L alcohol anhidro |                     |               | mg/L alcohol anhidro  |                     |               |
|                      |                      |                     |               |                       |                     |               |
| Acetaldehído         | 3.309,1              | 2.722,30            | 3.799,1       | 470,9                 | 53,2                | 138,3         |
| Metanol              | 3.479,9              | 3.825,20            | 4.109,1       | 10.782,1              | 17.075,8            | 8.161,5       |
| Isopropanol          | 98,1                 | 76,3                | 64,6          | 8,8                   | 6,1                 | 0,0           |
| Propanol             | 685,6                | 694,4               | 836,1         | 663,6                 | 888,8               | 1.065,4       |
| EtilAcetato          | 668,5                | 361,5               | 306,8         | 624,5                 | 102,2               | 48,8          |
| 2-Butanol            | 6,4                  | 3,8                 | 1,3           | 7,3                   | 4,5                 | 4,9           |
| Isobutanol           | 2.202,4              | 1797,4              | 2.059,1       | 1.238,0               | 1.333,1             | 8.797,4       |
| Butanol              | 7,8                  | 7,1                 | 6,9           | 7,0                   | 12,8                | 87,1          |
| Isoamílico 1         | 1.687,9              | 880,0               | 897,7         | 1.134,1               | 1.654,5             | 1.599,3       |
| Isoamílico 2         | 466,0                | 207,4               | 292,6         | 239,9                 | 328,7               | 447,4         |
| IsoAmilAcetato       | 0,00                 | 0,0                 | 0,0           | 0,00                  | 0,00                | 0,00          |
| Furfural             | 0,00                 | 0,0                 | 0,0           | 0,00                  | 0,00                | 0,00          |
| Porcentaje etanol    | 98,33                | 98,62               | 98,39         | 98,13                 | 97,37               | 98,25         |
| Alcoholes superiores | 5.154,3              | 3.666,5             | 4.158,3       | 3.298,6               | 4.228,6             | 4.931,4       |
| Ésteres              | 668,5                | 361,5               | 306,8         | 624,5                 | 102,2               | 48,8          |
| Otros congéneres     | 3.309,1              | 2.722,30            | 3.799,1       | 470,9                 | 53,2                | 138,3         |

cuando la concentración de etanol en el fermentado es mayor al 5% (11).

El propanol, isobutanol y alcohol isoamílico, forman parte del denominado aceite de fusel o también llamado alcohol de fusel, por estar formado por alcoholes con más de dos átomos de carbono; su formación durante la fermentación de los azúcares depende del tipo de microorganismo utilizado en la fermentación, la cantidad de nitrógeno presente en el sustrato puesto a fermentar y el pH, la temperatura y el grado de agitación durante la etapa de fermentación. Valores de temperatura por encima del considerado óptimo, para el microorganismo utilizado en la fermentación, y valores de pH por debajo del óptimo, favorecen la producción de estos congéneres.

**Valor experimental de producción de alcohol a partir del mucílago.** Para los tratamientos sin hidrólisis e inoculación con levaduras comerciales se registró un valor promedio de rendimiento de 40,13 ml de alcohol/litro de la solución de mucílago ( $n = 18$ ;  $CV = 12,37\%$ ), un valor promedio de densidad en la solución mucílago + agua de 1,18 g/ml ( $n = 5$ ;  $CV = 5,84\%$ ), y un porcentaje en peso de mucílago + agua respecto al fruto fresco del 25,24% ( $n = 5$ ;  $CV = 8,85\%$ ), con estos valores y teniendo en cuenta el valor calculado a partir de la información encontrada por Montilla (17), en donde el mucílago fresco sin agua representó el 14,85%, del peso del fruto fresco, se obtiene un valor de densidad del mucílago puro de 1,35 g.ml<sup>-1</sup>. Esto significa que a partir de una tonelada de mucílago fresco puro, proveniente de café sin selección, se podrían obtener 57,90 L de alcohol, con un contenido de etanol del 98,60%, para un total de 57,08 L de etanol. La obtención de etanol anhidro a partir de la caña de azúcar está alrededor de 75 a 80 L.t<sup>-1</sup> de caña (27).

**Valor teórico de producción de etanol a partir del mucílago.** De acuerdo con los análisis de Rodríguez (22), el 64,31% de la materia seca del mucílago son azúcares reductores. Si se consideran las relaciones estequiométricas, se tiene que una mol de glucosa produce dos moles de etanol (16). Considerando la información generada por Zambrano (30), donde 1 kg de café cereza sin seleccionar genera 91 ml de mucílago fresco, y la obtenida de Montilla (17), donde por cada kilogramo de café cereza se generan 148,5 g de mucílago, se tendría que a partir de 1 kg de mucílago fresco, proveniente de café sin selección, se podrían obtener 55,5 ml de etanol.

Krshnamoorthy y Deepak, citados por Cabrera *et al.* (5), reportan valores entre 3 a 4 g de etanol producido a partir de 100 ml de mucílago, equivalentes entre 38 y 51 ml de etanol por cada litro de mucílago.

Zambrano (30), para la descomposición anaerobia del mucílago, reporta una producción de 336 L de metano por cada kilogramo de DQO removido en el proceso de fermentación, a 36°C, por lo que se puede estimar que la energía contenida en el biogás generado a partir de la descomposición de 1 kg de mucílago fresco es del orden de 2,0 MJ. La energía contenida en el etanol obtenido de la fermentación alcohólica de 1 kg de mucílago fresco es del orden de 1,2 MJ.

Para que el balance energético de la producción de etanol, a partir del mucílago de café sea positivo, es necesario tratar las vinazas generadas en el proceso de elaboración, mediante digestión anaerobia y utilizar el metano generado como combustible para el proceso.

**Vinazas del proceso de destilación del alcohol de mucílago.** En la Tabla 4 se presentan los resultados relacionados con

la caracterización de las vinazas (volumen, pH, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Totales) obtenidas del proceso de destilación simple de las diferentes muestras de mucílago fermentado para los tratamientos sin hidrólisis.

De los resultados obtenidos puede concluirse que la mayor carga orgánica, expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO), se presentó para las vinazas provenientes del proceso de destilación del mucílago fermentado sin la adición de levaduras comerciales, lo cual se explica por la presencia en el fermentado, de compuestos con puntos de ebullición mayores a los del etanol, dado que la concentración de levaduras presentes en este tratamiento fue inferior a la presente en los tratamientos inoculados con levaduras comerciales.

Para los tratamientos sin hidrólisis y adición de levaduras comerciales las vinazas representaron el 44,42% del volumen inicial de las muestras fermentadas, con un pH medio de 4,58, un valor medio de sólidos totales de 101.258 ppm y una DQO media de 119.689 ppm.

De acuerdo con los datos encontrados puede obtenerse 1 L de etanol a partir de 25 L de la solución agua-mucílago fermentado, generándose 11 L de vinazas, las cuales deben tratarse por digestión anaerobia, con el fin de disminuir el impacto ambiental que éstas ocasionarían sobre los recursos naturales, generándose en el proceso otro biocombustible aprovechable: el biogás.

Los mejores tratamientos para la obtención de etanol a partir del mucílago de café fueron los que no se sometieron a hidrólisis y se inocularon con levaduras comerciales, entre los que no se encontraron diferencias estadísticas, permitiendo alcanzar, por cada kilogramo de mucílago sin diluir, rendimientos medios de 57,08 ml de etanol, seguido de los tratamientos sometidos a hidrólisis alcalina (rendimientos medios de 54,65 ml de etanol) y de los tratamientos sometidos a hidrólisis enzimática (rendimientos medios de 54,58 ml de etanol), que permitieron cumplir con la hipótesis de trabajo propuesta. Entre los anteriores tratamientos no se presentaron diferencias estadísticas, por lo que por

**Tabla 4.** Caracterización de las vinazas obtenidas del proceso de destilación de 0,95 L de mucílago fermentado sin hidrólisis.

| Tratamiento                        | Parámetro  | Volumen final (ml) | pH (unidades) | Sólidos Totales (ppm) | DQO (ppm) |
|------------------------------------|------------|--------------------|---------------|-----------------------|-----------|
| Mucílago sin adición de levaduras  | Promedio   | 408                | 3,80          | 108.766               | 168.650   |
|                                    | Desv. Est. | 30,70              | 0,09          | 11.091                | 47.614    |
|                                    | CV (%)     | 7,52               | 2,31          | 10,20                 | 28,23     |
|                                    | Datos      | 8                  | 8             | 8                     | 8         |
|                                    | Promedio   | 422                | 4,58          | 101.258               | 119.689   |
| Mucílago con levaduras comerciales | Desv. Est. | 77,00              | 0,34          | 18.308                | 25.407    |
|                                    | CV (%)     | 18,23              | 7,38          | 18,08                 | 21,23     |
|                                    | Datos      | 32                 | 32            | 32                    | 32        |

facilidades de proceso y costos se recomienda utilizar el mucilago sin hidrólisis e inocularlo con levaduras secas, por la facilidad de manipulación y la mayor vida útil de éstas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a Eliécer Ortega de la Industria Licorera de Caldas, por la realización de los análisis cromatográficos; a la doctora Esther Cecilia Montoya de la Disciplina de Biometría de Cenicafé, por la asesoría estadística, y a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, por el apoyo económico para la realización de la investigación QIN0806 “Producción de alcohol carburante a partir del mucilago de café”.

## LITERATURA CITADA

1. AOAC. INTERNATIONAL. Official Methods of analysis. 16<sup>th</sup> Edition. Gaithersburg. USA. 1997. 2v (sp).
2. APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid (España), Ediciones Díaz de Santos. 1992. 1914 p.
3. BALLESTEROS P., M. Seminario Internacional sobre aprovechamiento de residuos agroindustriales. Uso energético de la biomasa. Universidad Nacional Sede Manizales. Manizales. Mayo 19 al 21. 1998.
4. BLANDÓN, G.; RODRÍGUEZ, N.; DÁVILA, M. T. Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Cenicafé* 49(3):169-185. 1998.
5. CABRERA, S. DE; CALZADA, J.F.; GIL, L.A.; ARRIOLA, M.C. DE. Etanol de cerezas y mucilago de café. In: SIMPOSIO Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café, 3. Guatemala, Febrero 16-18, 1987. Guatemala, ICAITI-ANACAFÉ-PNUMA, 1987. p. 129-137.17 Refs. Esp.
6. CALLE V., H. Subproductos del café. Chinchiná (Colombia). *Cenicafé*. 1977. 84 p. (Boletín Técnico N° 6).
7. CALLE V., H. Producción de alcohol con los desperdicios del café. *Cenicafé* 2(22):33-34. 1951.
8. CENTRO DE ESTUDIOS DE MEDICIÓN Y CERTIFICACIÓN DE CALIDAD, CESMEC S.A. Tablas de densidad de soluciones etanol-agua. On line. Internet. Disponible en: [http://www.cesmec.cl/medios/Metrologia/concentracion\\_densidad\\_etanol.xls](http://www.cesmec.cl/medios/Metrologia/concentracion_densidad_etanol.xls). Fecha de consulta: Octubre del 2007.
9. DOMENECH L., F. Alcohol a partir de residuos lignocelulósicos. Estado actual y perspectivas. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. ICIDCA. La Habana, Cuba. Seminario de Alcohol. 2001. Memorias.
10. EL-REFAI, A. H.; EL-ABYAD, M. S.; EL-DIWANY, A. I.; SALLAM, L. A.; ALLAM, R. Some physiological parameters for ethanol production from beet molasses by *Saccharomyces cerevisiae* Y-7. *Bioresource Technology*, Volume 42, Issue 3, 1992, Pages 183-189.
11. ESTELA-ESCALANTE, W.; RYCHTERA, M.; MELZUCH, K.; HATTA-SAKODA, B.; LUDEÑA-CERVANTES, Z.; SARMIENTO-CASAVILCA, V.; CHAQUILLA-QUILCA, G. Actividad fermentativa de *Saccharomycodes ludwigii* y evaluación de la síntesis de compuestos de importancia sensorial durante la fermentación de jugo de manzana. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 14(1):12-23, 2011
12. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Anuario Meteorológico Cafetero 2007. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 2009. 568 p.
13. HACH COMPANY. DR/2000 Spectrophotometer. Procedures Manual. Loveland, Colorado, USA. 1988. 394 p.
14. LOKE, J.; ÁLVAREZ, E.; GONZÁLEZ, S.; OSPINA, B.; CARDONA, J.; DE LOS RÍOS, D.; LÓPEZ, R. N.; GALEMA, T.; LLANO, D.; LLANO, G.; PABÓN, C.; VAN ECK, R. Innovación en la Producción de Combustibles Biológicos: Crear Acceso para Asociaciones de Agricultores a Mercados Ilimitados. In: X Congreso Colombiano de Ingeniería Agrícola y carreras afines. Universidad Surcolombiana. Neiva. Memorias. Noviembre del 2006.
15. GARAVITO, A.; PUERTA, G. I. Utilización del mucilago de café en la alimentación de cerdos. *Cenicafé* 49(3):231-256. 1998.

16. GARCÍA C., J. M.; GARCÍA L., J. A. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. Informe de vigilancia tecnológica 4. Madrid. España. 2007. 122 p.
17. MONTILLAP, J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2006. 107 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
18. REY, G. H. A la cosecha del sol. On line Internet. Disponible en: <http://www.ipsnoticias.net/nota.asp?idnews=39017>. (Fecha de consulta: 27 de octubre del 2006).
19. RÍOS A., S. Manual de Análisis Químico del Mucilago del Café. Disciplina de Química Industrial. Cenicafé. Chinchina. 56 p. 1995. (Mecanografiado).
20. ROA, G.; OLIVEROS, C.E.; ÁLVAREZ, J.; RAMÍREZ, C.A.; SANZ, J.R.; DÁVILA, M.T.; ÁLVAREZ, J.R.; ZAMBRANO, D.A.; PUERTA, G.I.; RODRÍGUEZ, N. Beneficio Ecológico del café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. 1999. 300 p.
21. RODRÍGUEZ V., N. Balance energético en la producción de etanol a partir de la pulpa y el mucilago de café y poder calorífico de los subproductos del proceso del cultivo de café. Chinchiná (Colombia), CENICAFÉ. Disciplina de Calidad y Manejo Ambiental. 2007. 7 p.
22. RODRÍGUEZ V., N. Avances del Experimento QIN-08-02. Obtención de pectinas a partir de la pulpa y el mucilago del café. In: Informe anual de actividades 1998-1999. Chinchiná (Colombia), Cenicafé. Disciplina de Química Industrial, 1999. (Mecanografiado). 90 p.
23. RODRÍGUEZ V., N.; ZAMBRANO F., D.A. Los subproductos del café: Fuente de energía renovable. Chinchiná. CENICAFÉ, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 393).
24. SPIEWECK, F.; BETTIN, H.; Review: Solid and liquid density determination. *Technisches Messen* 59. pp 285 – 292. 1992.
25. VALDÉS D., B.E. Productos de la fermentación de plátano maduro; etanol y una bebida alcohólica; informe final del experimento. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2001. 95 p.
26. VALENCIA A., G.; CALLE V., H. La miel de café y su composición. *Cenicafé (Colombia)* 19(4):135-139. 1968.
27. VIVAS P., A. L. Construcción y gestión para un proyecto de alcohol carburante. .II Seminario Internacional de Alcohol Carburante. Asocaña. Cali. julio del 2006. Memorias.
28. WILBAUX, R. Coffee processing. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome (Italy). 1963. 287 p.
29. YU, Z.; ZHANG, H. Ethanol fermentation of acid-hydrolyzed cellulosic pyrolysate with *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource Technology* Volume 93, Issue 2, June 2004, Pages 199-204.
30. ZAMBRANO F., D. A. Estudios de planta piloto para el tratamiento anaeróbico de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Cenicafé, 1994. (Proyecto QIN-02-00).
31. ZAMBRANO F., D.A.; ISAZA H., J. D. Lavado del café en los tanques de fermentación. *Revista Cenicafé* 45(3):106-118. 1994.
32. ZAMBRANO F., D. A.; RODRÍGUEZ V., N.; LÓPEZ P., U.; OROZCO R., P. A.; ZAMBRANO G., A.J. Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café. Chinchiná, CENICAFÉ. 2006. 28 p. (Boletín Técnico N° 29).

# PRODUCTIVIDAD DEL CAFÉ EN TRES EDADES DE TRASPLANTE E INTERCALADO CON MAÍZ Y FRÍJOL ARBUSTIVO

Argemiro Miguel Moreno-Berrocal\*; Pedro María Sánchez-Arciniegas\*\*

---

## RESUMEN

**MORENO B., A.M; SÁNCHEZ A., P.M. Productividad del café en tres edades de trasplante e intercalado con maíz y frijol arbustivo. Revista Cenicafé 62(1):70-75.2011**

En este estudio se comparó la producción de café sembrado en tres sistemas: chapola y almácigos de tres y seis meses, intercalados con maíz y frijol. El café se estableció en dos densidades a 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha) y 2,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha). Se encontró que la producción con siembra de almácigos de tres y seis meses fue igual, pero superior estadísticamente a la que se obtuvo con siembra de chapola. Además, la producción de café no se afectó por el intercalamiento de maíz y frijol. En consecuencia, puede establecerse café con almácigos de 3 meses empleando bolsas de menor tamaño (13x17cm) e intercalar dos ciclos de maíz o tres de frijol arbustivo para reducir costos de establecimiento del café y tener ingresos durante esta etapa. Con la siembra de almácigos de 3 meses en bolsas de 13 x 17 cm, se ahorra sustrato (materia orgánica, suelo de capote), se disturba menos el suelo, al necesitar huecos de menor tamaño y se facilita tanto el transporte de los colinos al campo como la siembra, en comparación a los almácigos de 6 meses, en bolsas de 17 x 23 cm.

**Palabras clave:** Chapola, almácigo, intercultivos

---

## ABSTRACT

This study compared the production of coffee grown in three systems: plantlets and nursery seedlings of three and six months, intercropped with corn and beans. Coffee was established in two densities 1.0 x 1.0 m (10,000 plants / ha) and 2.0 x 1.0 m (10,000 plants / ha). The production with nursery seedlings sowing of three and six months was the same, but statistically superior to that obtained with plantlets. In addition, coffee production was not affected by maize and beans intercropping. Consequently, coffee nursery seedlings of three months can be established using smaller bags (13x17cm) and merged two cycles of corn or three cycles of beans to reduce establishment costs and have an income during this stage. The planting of nursery seedlings of three months in bags of 13 x 17 cm saves substrate (organic matter, soil cloak), the soil is less disturbed because the holes need to be smaller; thus, the transport of plantlets to the field is facilitated compared to planting nursery seedlings of 6 months in bags of 17 x 23 cm.

**Keywords:** Plantlet, nursery seedlings, intercropping

---

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

\*\*Asistente de Investigación. Estación Experimental Santander. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia

En la etapa de establecimiento del café no se generan ingresos, mientras que sí implica gastos por manejo de arvenses y fertilizantes, principalmente, por lo que es importante contar con opciones para establecer el cultivo, de tal manera que se pueda facilitar su manejo y reducir los costos de establecimiento.

Salazar (10), al evaluar siembra de la semilla en la bolsa, el trasplante en estado de fósforo 60 y 75 días después de haber puesto a germinar la semilla, y el trasplante en estado de fósforo 60 y 75 días después de haber puesto a germinar la semilla, con recorte de la parte terminal de la raíz pivotante, no encontró diferencias significativas de las variables altura y peso seco de las plantas. Uribe y Mestre (12), al comparar la siembra directa de la chapola en el campo y almácigos de 2, 4, 6, 8 y 10 meses, después de dos cosechas, afirman que con almácigos de 4 meses, la producción de café puede ser buena, pero aumenta el costo de establecimiento del cafetal. Estos resultados muestran diferentes formas de obtener una plántula de café, siempre y cuando ésta esté sana y tenga condiciones fisiológicas adecuadas para su establecimiento en el campo. En el período de establecimiento pueden intercalarse cultivos semestrales o

anuales, práctica que permite recuperar o reducir los costos de establecimiento del cultivo de café, cuando se siembran almácigos menores de 6 meses. Cabe anotar que el café se beneficia de las labores realizadas en el otro cultivo, y además éste le puede proteger de los vientos fríos durante la noche o puede actuar como sombrío transitorio en períodos de déficit hídrico, la generación de ingresos adicionales y la reducción de los costos de producción durante los primeros 2 años.

De otra parte, al trasplantar almácigos menores de 6 meses, se usan bolsas más pequeñas (con capacidad de 1 kg), con la consecuente disminución de suelo y materia orgánica, por lo tanto, el impacto ecológico sobre el suelo puede ser menor, debido a que con hoyos más pequeños se interviene menos el suelo y hay menor erosión. Además, este sistema de siembra es compatible con cualquier sistema de producción de café, tanto con relación a la población como con el arreglo espacial, de igual manera es factible practicar los sistemas de producción con cultivos intercalados, los cuales con la generación de ingresos adicionales al café, pueden pagar los costos adicionales al llevar al campo almácigos menores de 6 meses (Figura 1).



**Figura 1.**  
Almácigos en bolsa  
de 13 x 17 cm  
(izquierda) y de 17  
x 23 cm (derecha).

Horwith (3) afirma que si la rentabilidad de los intercultivos no fuera tan buena, debería considerarse que estos sistemas pudieran eliminar el uso innecesario de recursos en la agricultura o enseñar a usarlos con mayor efectividad. Además, el enfoque para analizar los intercultivos debe incluir no sólo las ventajas económicas, sino también la intención de conocer mejor su manejo a fin de lograr mayores beneficios. En este caso, es oportuno conocer el uso racional de los recursos comprometidos en el establecimiento de los cafetales o la renovación por siembra nueva para hacer un cambio tecnológico, como el de reemplazar una variedad de café susceptible a la roya por otra resistente.

Margate *et al.* (4), al estudiar el sistema coco (*Cocos nucifera* L.) intercalado con café, concluyó que la aplicación de fertilizantes al coco, con o sin fertilizar el café, incrementaron la cosecha de copra; el coco no fertilizado, aunque el café lo estuviera, produjo cosechas bajas, sugiriendo que el coco no se beneficiaba de los fertilizantes aplicados al café; si el coco estaba fertilizado, la cosecha de café no se beneficiaba del fertilizante aplicado al coco, por lo tanto fue necesario aplicar fertilizante por separado a los dos cultivos. Es decir, se necesita manejo independiente para cada cultivo.

Chengappa, citado por Mestre y Salazar (5), indica que el análisis económico de ensayos realizados en India los ingresos netos más altos se obtuvieron con cultivos intercalados con café. Moreno *et al.* (7, 8), concluyen que cuando se llevan al campo almácigos de 6 meses, la producción de café no sufre efectos significativos de competencia, con dos ciclos de frijol arbustivo y un ciclo de maíz. En cuanto a los beneficios ecológicos, Ghaffarzadeh *et al.* (2), encontraron que en franjas intercaladas de maíz, soya, avena y alfalfa, las producciones fueron tan buenas en épocas secas como en las lluviosas, como

un efecto positivo del mayor cubrimiento del suelo. Moreno (6), encontró que en épocas de El Niño, la producción de café con manejo integrado de arvenses, en el sistema de producción café intercalado con maíz, frijol arbustivo o tomate de mesa, no afecta la producción de café, porque la cobertura ayuda a mantener la humedad en el suelo.

Theunissen (11), considera que los intercultivos son un sistema sostenible de producción, que minimiza la dependencia de pesticidas, con la consecuente obtención de productos menos contaminados, porque los cultivos intercalados conforman microambientes menos favorables para las plagas y las enfermedades. Patil y Pandey (9), durante 2 años, al intercalar guandul (*Cajanus cajan* L.) con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), redujeron el crecimiento de las arvenses, con un mejor uso de los nutrientes por parte de los cultivos, de tal manera que los componentes del rendimiento y el rendimiento del guandul aumentaron y los ingresos netos fueron mejores, con relación a los monocultivos. Van Asten *et al.* (13), al evaluar el sistema de producción café arábica y robusta intercalado con plátano, afirman que la tasa marginal de retorno al intercalar plátano con café fue de 911% y 200%, para arábica y robusta, respectivamente.

Al considerar lo anterior, se hizo un experimento para comparar las producciones de café sembrado a partir de chapola y almácigos de 90 y 180 días, intercalado con maíz y frijol arbustivo, como una forma de obtener ingresos adicionales al café antes de la primera cosecha de café, sin que se afectara la producción de café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Estación Experimental San Antonio, Floridablanca (Santander), 7° 06" latitud Norte, 73° 04" longitud Oeste,

altitud de 1.515 m, temperatura media de 19,6°C, humedad relativa media de 82%, 1.499 mm de precipitación anual, con 221 días de lluvia y brillo solar de 1.356 h.año<sup>-1</sup>. El material de origen del suelo está constituido por gneis moscovítico, unidad Paujil, del orden Inceptisol. En la zona la pedregosidad superficial es una característica general y en los sectores de mayor pendiente es común encontrar pedregosidad dentro del perfil, que aumenta con la profundidad, pero sin llegar a interferir la profundidad de penetración de las raíces. El suelo presentó contenido medio de materia orgánica (6,2%), P (35 ppm), K, Ca y Mg (0,3, 1,7 y 0,4 cmol<sub>(+)</sub>.kg<sup>-1</sup> de suelo, respectivamente); acidez muy fuerte (4,6), con alta saturación de Al (44,2%); textura franco arcillo arenosa (1).

Se usó semilla de variedad Colombia, se construyeron tres germinadores 270, 180 y 90 días antes de la fecha de instalación del experimento, que correspondieron a los tratamientos con almácigos a los 180 días, almácigos de 90 días y con chapola, respectivamente, para garantizar que a los 90 días se tuvieran chapolas con desarrollo adecuado para el transplante.

Los almácigos de 180 días se hicieron en bolsas de 17 x 23 cm (2 kg) y los de 90 días en bolsas de 13 x 17 cm (1 kg), con una mezcla 3:1 de suelo y pulpa descompuesta. Las chapolas se protegieron inmediatamente después de la siembra con dos estacas de guaduas ubicadas en sentido Oriente Occidente, para evitar los efectos adversos de la incidencia de la luz directa del sol (golpe de sol). El manejo agronómico del café se hizo conforme a un cultivo tecnificado, durante un ciclo completo de producción.

Se estudiaron dos factores experimentales: El arreglo espacial del café, al cuadro (1,0 x 1,0 m, una planta por sitio) y al rectángulo

(2,0 x 1,0 m, dos plantas por sitio), y la edad de transplante de café (chapolas, almácigos de 90 y 180 días de edad), en una unidad experimental de 24 sitios de café, de los cuales se tomaron como efectivos ocho sitios, en un diseño de parcelas subdivididas en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Para conocer el posible efecto del intercalamiento de cultivos anuales sobre la producción de café, en ambos arreglos espaciales se intercalaron tres ciclos seguidos de frijol arbustivo y dos de maíz, frente al sistema café sólo, como testigo en ambos arreglos espaciales y edades de trasplante. En arreglo espacial al cuadro, un surco de maíz o dos de frijol arbustivo, y en el arreglo espacial al rectángulo, dos surcos de maíz o cuatro de frijol arbustivo.

Se registró la fecha de inicio de la producción de café, la producción de café cereza, la conversión de café cereza a pergamino seco y la producción de cinco cosechas, expresados en kilogramos por hectárea de café pergamino seco, según la conversión promedio de cada cosecha y las producciones de frijol y maíz en cada uno de sus ciclos en kilogramos por hectárea (kg.ha<sup>-1</sup>).

Se hizo análisis de varianza conforme al diseño experimental especificado y la comparación de medias con la prueba de Tukey al nivel del 5%, cuando hubo diferencias estadísticas significativas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestra la producción media del ciclo de producción (kg.ha<sup>-1</sup> de café pergamino seco) en cada uno de los sistemas de producción. Los cultivos intercalados no afectaron la producción de café en ninguno de los tratamientos. Hubo diferencias estadísticas significativas entre

**Tabla 1.** Producción media (kg.ha<sup>-1</sup> de café pergamino seco) de un ciclo de producción de café en dos arreglos espaciales, tres edades de trasplante intercalado con maíz y frijol.

| Arreglo espacial del café    | Sistema de producción | Edad del café al trasplante | Producción media (kg.ha <sup>-1</sup> de cps) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| 1m x 1m                      | Café//frijol          | 3 meses                     | 4.943                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 5.305                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 4.430                                         |
|                              | Café//maíz            | 3 meses                     | 5.469                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 5.194                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 4.196                                         |
|                              | Café solo             | 3 meses                     | 5.415                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 5.190                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 3.924                                         |
| Media en el arreglo          |                       |                             | 4.896                                         |
| 2m x 1m                      | Café//frijol          | 3 meses                     | 3.950                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 4.583                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 3.123                                         |
|                              | Café//maíz            | 3 meses                     | 4.475                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 4.478                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 2.925                                         |
|                              | Café solo             | 3 meses                     | 4.194                                         |
|                              |                       | 6 meses                     | 4.554                                         |
|                              |                       | Chapola                     | 2.969                                         |
| Media en el arreglo          |                       |                             | 3.916                                         |
| Media general                |                       |                             | 4.406                                         |
| Coeficiente de variación (%) |                       |                             | 9,3                                           |

la chapola y las edades de 90 y 180 días (DMS: 337,5 kg); entre estas dos últimas no hubo diferencia significativa, dentro de arreglo espacial, pero sí entre arreglos para todas las edades (DMS: 341,3 kg); también hubo diferencias de la producción entre arreglos espaciales de 4.896 y 3.916 kg.ha<sup>-1</sup>, al cuadro y rectángulo respectivamente. Esto, de una parte permite descartar la chapola como material de siembra, al cuadro o al rectángulo para establecer cultivos de café en siembra nueva, pues aparte de su baja productividad, es tardía, y su establecimiento

demandaría costos adicionales con relación a las otras dos edades.

En la primera cosecha se observó que la producción de la siembra con chapola no tuvo producción en el arreglo 2 x 1 m, intercalado con frijol o maíz, ni en el cultivo solo, mientras que a 1,0 x 1,0 m sí hubo producción; esta diferencia se mantuvo a través del ciclo de producción, de tal manera que la producción media fue significativamente diferente de 4.184 y 3.005 kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente; esto indica que el

arreglo al cuadro favoreció el trasplante de chapola, a pesar de sus inconvenientes para su establecimiento, producción tardía y baja.

Puede concluirse que independiente del arreglo espacial del café, se puede usar como material de siembra colinos de 3 meses en bolsas de 13 x 17 cm (1 kg), con el ahorro directo de materia orgánica, suelo de capote, mayor eficiencia en el transporte al campo por su menor peso, menor impacto al suelo (erosión) al hacer huecos de menor tamaño y menor costo en el mantenimiento de los colinos al tener mayor cantidad por unidad de área.

De otra parte, se corrobora que al intercalar maíz o frijol arbustivo, estos cultivos no afectan la productividad del café, aunque se siembren colinos más pequeños como los de 90 días. Por lo tanto, se puede contar con las ventajas económicas que ofrece esta opción complementaria al establecer lotes de café en siembras nuevas, intercalados hasta con dos ciclos de maíz y tres de frijol arbustivo, con manejo independiente de los cultivos, para reducir la posible competencia entre los componentes específicos del sistema, conforme a resultados de investigaciones anteriores (7, 8).

## LITERATURA CITADA

1. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. 1981. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del Departamento de Santander. EDITADO EN: Bogotá (Colombia), FNC, Programa de Desarrollo y Diversificación. 283p.
2. GHAFARZADEH M., PRECHAC FG., CRUSE RM. 1997. Tillage effect on soil water content and corn yield in a strip intercropping system. *Agronomy Journal*. 89(6):893-899. Nov-Dec.
3. HORWITH, B. 1985. A Role for Intercropping in Modern Agriculture. *BioScience*, Vol. 35 No. 5, May, 286-291.
4. MARGATE, R.Z.; MARAVILLA, J.N.; EBUÑA, R.M.; EROY, M.N. 1993. Response of Coconut and Coffee to fertilizers applied on either or both crops in an intercropping system. *Philippine Journal of Coconut Studies* 18(2):1-6.
5. MESTRE M., A.; SALAZAR A., J. N. 1989. Efecto de la intercalación de maíz y frijol, sobre la producción de café en las dos primeras cosechas. *Cenicafé* 40 (4): 97-105.
6. MORENO B., A.M. 2005. Productividad de zocas de café con rotación de cultivos semestrales, con y sin manejo integrado de arvenses. *Cenicafé* 56(3):281-289.
7. MORENO, B. A.; POSADAS. H.; MESTRE M. A. 1995. Obtenga ingresos adicionales al intercalar frijol en siembras nuevas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No.219, Septiembre, 4p.
8. MORENO, B. A.; POSADAS. H.; MESTRE M. A. 1995. Obtenga ingresos adicionales al intercalar maíz en siembras nuevas de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No.220, Octubre, 4p.
9. PATIL B. M.; PANDEY J. 1996. Chemical weed control in pigeonpea (*Cajanus cajan L.*) intercropped with short-duration grain legumes. *Indian Journal of Agronomy*. 41(4):529-535, Dec.
10. SALAZAR A., J. N. 1979. Sistemas de siembra del café en almácigos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 92.
11. THEUNISSEN J. 1997 Intercropping in field vegetables as an approach to sustainable horticulture. *Outlook on Agriculture*. 26(2):95-99, Jun.
12. URIBE H., A., MESTRE M. A. 1978. Edad de trasplante del cafeto. *Avances Técnicos Cenicafé* No.75, Febrero, 4p.
13. VAN ASTEN, P.J.A., LORENZEN, J., WAIREGI, L., MUKASA, D., BATTE, M., URINGI, N.O. 2011. Agronomic and economic benefits of coffee-banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. *Agricultural Systems* 104: 326-334.

# PROPIEDADES FÍSICAS DE UN ANDISOL DE LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA Y SU INFLUENCIA SOBRE LOS DESLIZAMIENTOS<sup>1</sup>

Jorge Enrique Barrera-Gutiérrez\*; José Horacio Rivera-Posada\*

## RESUMEN

**BARRERA G., J.E.; RIVERA P., J.H. Propiedades físicas de un andisol de la zona cafetera colombiana y su influencia sobre los deslizamientos. Revista Cenicafé 62(1):76-86.2011.**

Se realizó una investigación en la Estación Experimental Naranjal y en el laboratorio de física de suelos de Cenicafé, con el fin de estudiar la relación entre la resistencia a los deslizamientos y las propiedades físicas de un suelo clasificado como *Acrudoxic melanudands*. Se determinó la resistencia del suelo al cortante tangencial, para lo cual se efectuaron 18 pruebas de corte directo sobre monolitos de suelo consolidados, no drenados, a tres rangos de profundidad del perfil de suelo (20, 80 y 120 cm), y seis pruebas de corte para cada profundidad. El tamaño de cada monolito fue de 20 x 20 x 10 cm. Se aplicaron cargas normales de 6,0; 8,0; 11,0; 13,5; 16,5 y 19,0 kPa, para cada prueba de corte. En cada profundidad se determinaron propiedades físicas como granulometría, propiedades volumétricas, estabilidad de agregados, límites de consistencia y contenido de humedad. La resistencia al cortante tangencial aumentó directamente con la profundidad del perfil del suelo, el menor valor promedio se registró a los 20 cm (34,16 kPa) y el mayor valor (53,61 kPa) a 120 cm. Hubo una correlación lineal inversa y altamente significativa entre el contenido de arcilla y la resistencia del suelo al cortante ( $r=-0,94$  y  $r=-0,60$ ) a los 20 cm y de 20 a 120 cm, respectivamente, lo que indica que a mayor contenido de arcilla menor resistencia al cortante tangencial. Se observó una relación similar entre la resistencia al cortante tangencial y la humedad gravimétrica en la profundidad de 20 a 120 cm ( $r=-0,54$ ). Los valores de límite plástico y líquido mostraron relación inversa con la resistencia al cortante tangencial del suelo, al igual que los contenidos de arcilla.

**Palabras clave:** Suelo, movimiento masal, resistencia al cortante tangencial.

## ABSTRACT

This research was conducted in the Naranjal Experimental Station and in the Soils Physics Laboratory in order to study the relationship between resistance to landslides and the physical properties of a soil classified as *Acrudoxic Melanudands*. The resistance of soil to strength tangential shear was determined through 18 tests of directly cutting consolidated undrained soil monoliths, at three depth ranges of the soil profile (20, 80 and 120 cm) and six cutting tests for each depth. The size of each monolith was 20 x 20 x 10 cm. Normal loads of 6.0, 8.0, 11.0, 13.5, 16.5 and 19.0 kPa, for each cutting test were applied. Physical properties such as particle size, bulk properties, aggregate stability, consistency and moisture content limits were determined at each depth. The tangential shear strength increased directly with the depth of the soil profile, the lowest average value was recorded at 20 cm (34.16 kPa) and the highest value (53.61 kPa) at 120 cm. An inverse linear correlation was highly significant between the content of clay and soil shear strength ( $r = -0.94$  and  $r = -0.60$ ) at 20 cm and from 20 to 120 cm, respectively, indicating that the higher clay content the less tangential shear strength. A similar relationship was observed between the tangential shear strength and the gravimetric moisture depth from 20 to 120 cm ( $r = -0.54$ ). The values of plastic and liquid limit showed an inverse relation with the tangential shear strength of the soil, just like clay content.

**Keywords:** Soil, mass motion, tangential shear strength.

<sup>1</sup> Fragmento de tesis "Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana" presentada por el primer autor a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá (Colombia), 2003, para optar al título de Ingeniero Forestal.

\* Investigador Asociado (hasta el año 2003) e Investigador Científico II. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

Los movimientos en masa son procesos debidos a la fuerza de gravedad, pendiente y saturación de los suelos, por los cuales una parte del terreno se desplaza a una cota inferior de la original. Este tipo de procesos gravitatorios se relacionan con altas precipitaciones, de tal forma que las lluvias torrenciales son precursoras de los movimientos en masa, debido a que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo a los deslizamientos (3, 14).

Los movimientos masales son controlados por el equilibrio entre los factores estabilizadores o condicionantes (fuerza de las raíces, cohesión, entre otras) y los factores desestabilizadores o desencadenantes (pendiente, fuerzas de infiltración y nivel freático, entre otras). Otra forma para explicar esta relación es la magnitud relativa de la resistencia al cortante frente al esfuerzo cortante (1).

La resistencia al cortante tangencial es un conjunto de parámetros fundamentales en el estudio de la mecánica del suelo, y su conocimiento es punto de partida para el entendimiento y tratamiento de los movimientos masales (13). La teoría de Charles Auguste de Coulomb, que data del año 1773, establece que un material falla, es decir, sufre rotura, deformación o movimiento, cuando el esfuerzo cortante aplicado en una dirección dada, supera a la resistencia natural del suelo al cortante tangencial en esa misma dirección, la cual depende de la cohesión y la fricción interna entre las partículas; lo anterior está dado por la ecuación de Coulomb, Ecuación <1>.

$$S = C' + \sigma' \tan \phi$$

Ecuación <1>

La Ecuación <2> se utiliza cuando en el suelo actúan esfuerzos negativos como la presión de poros, en suelos saturados ( $\mu$ ) (5, 13), característica frecuente en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. La cohesión,

la presión de poros y el ángulo de fricción interna, están altamente relacionados con las propiedades físicas del suelo, los cuales a su vez dependen en gran parte del material parental y de los procesos de formación del mismo (5). Los factores cohesión del suelo y presión de poros pueden ser modificados por el hombre, debido a las prácticas de uso, manejo y conservación de los suelos y aguas, al favorecer la mayor o menor cohesión y condiciones de drenaje al terreno. El ángulo de fricción interna depende principalmente de características propias de las partículas del suelo como son la textura, fricción mecánica directa y la trabazón existente entre éstas (5).

$$S = C' + (\sigma' - \mu) \tan \phi$$

Ecuación <2>

Donde:

S = Resistencia al cortante tangencial del suelo

C' = Cohesión del suelo

$\sigma'$  = Esfuerzo normal al plano de corte

$\phi$  = Coeficiente de fricción interna

$\mu$  = Presión de poros

Diversos autores reportan la relación entre la resistencia al cortante tangencial de los suelos y propiedades físicas y mecánicas diferentes de los mismos como el índice de plasticidad, tamaño medio de partículas, contenido de arcillas, grado de compactación, relación de espacio vacío y mineralogía de arcillas (4, 6, 7, 9, 10, 12). Dichas relaciones son importantes para entender los procesos por los cuales se originan los movimientos masales en la Zona Cafetera Colombiana y encontrar modelos sencillos para la predicción de la resistencia al cortante tangencial de los suelos y medidas preventivas y de control inmediatas.

El objetivo de la investigación fue estudiar la relación entre la resistencia al cortante

tangencial y las propiedades físicas de un suelo *Acrudoxic melanudands* de la zona cafetera colombiana, con el fin de contribuir al entendimiento de la ocurrencia de los movimientos masales en dicha región, prevenirlos o controlarlos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización, condiciones climáticas y de suelo.** El estudio se desarrolló en la Estación Central Naranjal, localizada en Chinchiná (Caldas), a 04°58' de latitud Norte y 75° 42' de longitud Oeste, a una altitud de 1.400 m, con valores anuales de lluvia de 2.800 mm, temperatura media 21,2°C y 76% de humedad relativa. El suelo sobre el cual se realizó el estudio correspondió a la Unidad Chinchiná, clasificado taxonómicamente como *Acrudoxic melanudands*, dicho suelo no se cultivaba por más de 15 años y presentaba una población diversa de arvenses propias de la zona al momento del estudio. Los análisis de laboratorio se realizaron en las instalaciones de Cenicafé (Manizales, Caldas), a 05°01' latitud Norte, 75° 36' longitud Oeste, a 1.310 m de altitud y temperatura media 20°C.

**Determinación de la resistencia del suelo al cortante tangencial.** En total se realizaron 18 pruebas de corte directo (*in-situ*) sobre monolitos de suelo consolidados, no drenados y bajo deformación controlada, a tres profundidades del perfil del suelo (20, 80 y 120 cm), y para cada profundidad se practicaron seis pruebas de corte. El tamaño de cada monolito de suelo fue de 20 x 20 cm de lado x 10 cm de altura.

Cada muestra fue aislada por medio de una lámina metálica de acero, que rodeaba la misma, y se consolidó por medio de esfuerzos normales, aplicando una carga por cada prueba de corte de: 6,0; 8,0; 11,0; 13,5; 16,5 y 19,0 kPa.

Por medio de un gato mecánico, a cada monolito se le aplicaron esfuerzos tangenciales sobre la lámina metálica, haciéndola desplazar a una velocidad de corte que varió entre 0,25 a 0,44 mm.min<sup>-1</sup>, hasta alcanzar un desplazamiento máximo de 4,0 cm (20% de deformación unitaria).

La resistencia al cortante tangencial del suelo se determinó como el valor más alto o resistencia pico, obtenido mediante un diagrama de esfuerzo tangencial (abscisa) y deformación unitaria (ordenada).

**Propiedades físicas del suelo.** Se tomó una muestra de suelo por cada prueba de corte (18 pruebas de corte), con el fin de realizar las siguientes determinaciones:

**Granulometría:** Se determinaron los porcentajes de arena (A), limo (L) y arcilla (Ar) por el método del hidrómetro propuesto por Bouyoucos, utilizando pirofosfato de sodio al 8% como dispersante.

**Densidad aparente (*Da*):** Se halló por el método del cilindro propuesto por Coile (1936), citado por Montenegro y Malagón (8).

**Densidad real (*Dr*):** Se obtuvo por el método del picnómetro, descrito por Montenegro y Malagón (8).

**Estabilidad estructural de los agregados:** Se utilizó la técnica de Yoder, descrita por Montenegro y Malagón (8), y se calcularon los siguientes índices: Diámetro ponderado medio (DPM), índice de estructura (IE) y estabilidad de la agregación (EA).

**Límites de Atterberg:** El límite líquido (LL) se determinó por medio del método de la cazuela de Casagrande; el límite plástico (LP) se obtuvo de acuerdo con lo establecido por Montenegro y Malagón (8); el índice de plasticidad (IP) se calculó como

la diferencia entre el contenido de humedad en el punto de máxima saturación (LL) y la humedad presente en el punto de mínima saturación (LP).

**Humedad gravimétrica ( $\theta_g$ ):** Se obtuvo de acuerdo con la metodología propuesta por Gavande (2).

**Relación entre la resistencia al cortante tangencial y las propiedades físicas.** Se realizó un análisis de correlación lineal simple y uno de regresión múltiple utilizando el método de selección stepwise, entre la resistencia al cortante tangencial y las propiedades físicas del suelo, por cada profundidad (20, 80 y 120 cm) y por el perfil de suelo en general (20 a 120 cm).

Se hicieron análisis de regresión simple, en los cuales la variable respuesta fue la resistencia a esfuerzos de cortante tangencial, y la variable aleatoria estuvo dada por cada una de las propiedades físicas y el índice de ocupación, con el fin de encontrar a cada profundidad, una ecuación que permitiera predecir la resistencia a esfuerzos de cortante tangencial para el suelo con raíces, a partir de las propiedades físicas y del área de ocupación de las raíces en el interior del suelo. A cada modelo de regresión, se le hizo el respectivo análisis de varianza, mediante el paquete estadístico SAS.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Resistencia al cortante tangencial de suelos derivados de cenizas volcánicas

Por lo general, los suelos derivados de cenizas volcánicas han sido considerados estables a los deslizamientos. No obstante, en el presente estudio la resistencia al cortante tangencial mostró el menor valor promedio a los 20 cm de profundidad (34,16 kPa) y

el mayor (53,61 kPa) a los 120 cm (Tabla 1), valores que en el área de la construcción indican que es necesario quitar o decapitar los horizontes del perfil del suelo con valores bajos, hasta encontrar el terreno más firme donde los valores son altos, para establecer las estructuras de construcción de obras de infraestructura pesada como puentes, planes de vivienda, edificios, llenos para construcciones, protección de estructuras, entre otros, este razonamiento estaría fundamentado. Sin embargo, se ha generalizado el uso de la ecuación para determinar el factor de seguridad de las laderas, especialmente, cuando se presentan problemas de erosión o movimientos en masa en los periodos invernales, de tal forma que según la norma internacional, cuando el factor de seguridad es igual o menor que uno, es un indicador de que el terreno es inestable y se requiere de su estabilización.

Por lo anterior, es conveniente analizar e interpretar independientemente cada uno de los parámetros que componen la ecuación de resistencia al cortante tangencial, con el fin de precisar cuál o cuáles de ellos están influyendo directamente en la susceptibilidad o resistencia de los suelos a los deslizamientos y fundamentar las soluciones más acertadas, ya sea de tipo preventivo o de control. Es importante resaltar que la ecuación en mención está integrada por cuatro parámetros físicos, los cuales no son suficientes para explicar toda la dinámica y complejidad que se presenta en los suelos de las laderas tropicales, que puedan conducir a su estabilidad o susceptibilidad permanente. Por lo tanto, no se puede esperar que solamente con el valor de resistencia al cortante tangencial, basado en parámetros físicos, desconociendo los parámetros químicos y biológicos, pueda darse solución al problema, sino que se hace necesario interpretar la ecuación en forma integral y relacionarla con el ecosistema directamente en el campo, para así determinar

qué parámetro o parámetros están influyendo positiva o negativamente en la estabilidad de la ladera, para hacer la intervención más precisa y lógica.

Existen dos parámetros dentro de la ecuación de resistencia al cortante tangencial, manipulables por el hombre y directamente relacionados con los movimientos masales, como son la cohesión y presión de poros. Este último parámetro se manifiesta en el terreno a través de agrietamientos, fracturamiento de estructuras rígidas, como pisos y paredes de viviendas, puentes, muros y pavimentos, entre otros. Es una de las principales causas de deslizamientos y que por su desconocimiento, se procede a la reubicación de familias afectadas, y además, es el agente principal de pérdidas de vidas humanas y todo tipo de infraestructura en épocas de invierno. Esto orienta en el sentido que en períodos lluviosos son preferibles las obras de drenaje para el abatimiento de la presión de poros, que las de contención en concreto, que por el contrario pueden limitar el flujo libre del agua, incrementar la presión de poros, y disminuir la cohesión del terreno favoreciendo los deslizamientos.

### **Propiedades físicas de los suelos relacionadas con el agua y los movimientos masales**

**Granulometría:** Es una propiedad intrínseca del suelo, es decir, no es modificable por el hombre y está muy relacionada, con el coeficiente de fricción interna en la ecuación de resistencia al cortante tangencial y con la retención de humedad del suelo, que a la vez se relaciona con el parámetro de presión de poros. A 20 cm de profundidad se alcanzaron los valores más altos de contenido de arcilla (12,5% valor máximo), y así mismo, los valores más bajos de resistencia al cortante tangencial (34,2 kPa) (Tabla 1). De igual forma, al analizar el contenido de arena dentro del perfil del suelo, se presentó el valor promedio más bajo a 20 cm de profundidad

(54,6%) y un valor de resistencia al cortante tangencial de 34,2 kPa, en relación con las profundidades de 70 a 80 cm y 110 a 120 cm, con valores bajos de contenidos de arcilla (4,5% y 5,6%, respectivamente), altos valores de arena (70,8 % y 70,35 %, respectivamente), y valores de resistencia al cortante tangencial de 43,4 y 53,6 kPa, respectivamente (Tabla 1). Estos resultados son confirmados por otros autores quienes aseguran que a medida en que aumentan los contenidos de arena dentro del perfil del suelo, ocurre una mayor fricción entre las partículas, y con ello una mayor resistencia al cortante tangencial y a los movimientos en masa (5, 13). La alta presencia de arcillas (12,5%) en los primeros centímetros del perfil (20 cm) indica la razón por la cual en suelos derivados de cenizas volcánicas se presentan deslizamientos superficiales en los períodos invernales, los cuales están relacionados con el contenido de arcilla, la mayor retención de humedad, el menor coeficiente de fricción a esa profundidad del suelo y el uso del mismo en monocultivos de pastos de sistemas radicales muy superficiales (0,20 – 0,30 m), los cuales ofrecen refuerzo mecánico muy superficial, dejando el resto del perfil del suelo suelto y expuesto a los deslizamientos, indicando la necesidad de establecer sistemas agroforestales y silvopastoriles, con raíces de anclajes mayores en el terreno en profundidad y lateralmente.

**Límites de Atterberg:** Se determinaron hasta los 20 cm de profundidad, ya que no se presentó plasticidad entre las profundidades de 70 a 80 cm y 110 a 120 cm, debido a los bajos contenidos de arcilla (Tabla 1), propiedad que depende directamente de la atracción dada por las cargas eléctricas derivadas de los minerales de arcilla (8). Para los 20 cm de profundidad, el índice de plasticidad fue de 8,96 en promedio, poco plástico según USDA (11) y Montenegro y Malagón (8).

**Tabla 1.** Resistencia al cortante tangencial y propiedades físicas promedio del suelo *Acrudoxic melanudands* estudiado a diferentes profundidades.

| Profundidad<br>(cm) | Rc<br>(kPa) | Ar<br>(%) | L<br>(%) | A<br>(%) | $\theta_g$<br>(%) | Da<br>(g.cm <sup>-3</sup> ) | Dr<br>(g.cm <sup>-3</sup> ) | Pt<br>(%) | DMP<br>(mm) | EA<br>(%) | LL<br>(%) | LP<br>(%) | IP   |
|---------------------|-------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|------|
| 10 a 20             | 34,16       | 12,48     | 32,94    | 54,58    | 62,0              | 0,85                        | 2,26                        | 0,62      | 3,13        | 96,98     | 48,21     | 39,25     | 8,96 |
| 70 a 80             | 43,40       | 4,50      | 24,70    | 70,80    | 55,0              | 0,95                        | 2,48                        | 0,62      | 3,22        | 98,78     | 0,00      | 0,00      | NP   |
| 110 a 120           | 53,61       | 5,62      | 24,03    | 70,35    | 52,0              | 0,97                        | 2,52                        | 0,62      | 3,19        | 98,40     | 0,00      | 0,00      | NP   |

**Rc:** resistencia al cortante tangencial; **Ar:** contenido de arcilla; **L:** contenido de limo; **A:** contenido de arena;  **$\theta_g$ :** humedad gravimétrica **Da:** densidad aparente; **Dr:** densidad real; **Pt:** porosidad total; **DMP:** diámetro ponderado medio; **EA:** estabilidad de la agregación; **LL:** límite líquido; **IP:** límite plástico; **I.P:** índice de plasticidad; **NP:** no plástico

A la profundidad de 20 cm, el límite plástico promedio fue de 39,25%, valor en el cual el suelo pasa del estado plástico a quebradizo o frágil, que según la clasificación de USDA (11) es considerado como alto y que se relaciona con la mayoría de los deslizamientos superficiales en estos suelos. El límite líquido promedio fue de 48%, indicando que a partir de dicho valor, a los 20 cm de profundidad la masa de suelo comienza a comportarse como un fluido, perdiendo rápidamente su plasticidad y propiciando los deslizamientos. Estos resultados confirman lo discutido en el aparte sobre granulometría. No obstante, estos primeros 20 cm son los más disturbados durante la siembra de los cultivos, lo que sumado a las desyerbas drásticas, generalizadas y reiteradas con azadón y herbicidas, inducen a dejar los suelos sin su bioestructura natural, con una superficie específica alta, que en los períodos lluviosos prolongados, conduce al aumento de la retención de humedad y a su saturación, aunado a la pérdida del refuerzo mecánico de las raíces de la vegetación herbácea y arbustiva, propiciando deslizamientos superficiales en forma de golpes de cuchara. En potreros, se presenta una situación similar cuando hay sobrepastoreo con formación de

terracetas o patas de vaca y remoción de la carpeta vegetal (calvas) por pisoteo excesivo del ganado.

Entre 70 a 80 cm y 110 a 120 cm de profundidad el suelo se clasificó como no plástico, debido a los bajos contenidos de arcilla (4,5 – 5,6 %, respectivamente) y contenidos altos de arenas (70,8 – 70,35%). Esta condición es ventajosa para estos suelos contra los movimientos masales, por poseer un coeficiente de fricción alto; sin embargo, éstos son muy susceptibles a la erosión, por la presencia alta de arenas, las cuales, por su cohesión baja son fácilmente desprendibles por el impacto de las gotas de lluvia y arrastradas por las aguas de escorrentía. Estas propiedades físicas, permiten hacer diferencias entre un proceso de erosión y un movimiento en masa, y así mismo, orientar el tipo de prácticas de prevención y control.

**Densidad aparente:** La densidad aparente aumentó a través del perfil del suelo, de 0,85 g.cm<sup>-3</sup> hasta 0,97 g.cm<sup>-3</sup>, debido al incremento de los contenidos de arena, la disminución de la actividad de los microorganismos y a la consolidación natural del suelo, por el aumento de la presión a medida que

se profundiza dentro del perfil, entre otras propiedades. Esta situación conduce a que en un periodo invernal prolongado, como los casos del fenómeno de La Niña, se presente una discontinuidad hidráulica dentro del perfil del suelo, debido a que todos los poros del mismo, en los primeros 20 cm, se llenan de agua (presión de poros) y los horizontes con mayor densidad aparente, donde el agua se mueve lentamente, se convierten en planos de deslizamiento haciendo que la capa superficial se desplace, ocasionando movimientos superficiales, iniciados con agrietamientos superficiales.

**Estabilidad de agregados:** El diámetro medio ponderado (DMP) presentó un valor superior a 3 mm de diámetro promedio, lo cual se refleja en los valores de estabilidad de la agregación (EA) superiores al 95%. De acuerdo con los criterios de Montenegro y Malagón (8), los agregados superiores a 3 mm de diámetro promedio son estables a la acción del agua, esto indica que los suelos derivados de cenizas volcánicas son estables en forma natural a los deslizamientos. En este sentido, es posible afirmar que los movimientos en masa en este tipo de materiales se deben más al mal uso y manejo de los suelos y de las aguas, que a su naturaleza intrínseca.

### Relación entre las propiedades físicas evaluadas y la resistencia al cortante tangencial

Se encontró relación entre la resistencia al cortante tangencial y algunas propiedades físicas del suelo en la profundidad de 20 cm y en el conjunto del perfil (20 a 120 cm), mientras que en la profundidad de 80 cm no se vio relación alguna, y a 120 cm éstas fueron escasas.

Se presentó una correlación lineal inversa y altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre el contenido de arcilla y la resistencia del suelo al cortante tangencial para las profundidades

20 cm ( $r = -0,94$  y  $R^2 = 0,88$ ) y 20 a 120 cm ( $r = -0,60$  y  $R^2 = 0,36$ ) (Tablas 2 y 3, respectivamente), lo cual indica que la mayor presencia de arcilla dentro del perfil del suelo favorece la menor resistencia del mismo al cortante tangencial, y disminuye la resistencia a los deslizamientos, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,89$  (Figura 1). Se observó una relación similar

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación lineal simple ( $r$ ) y de determinación ( $R^2$ ) entre la resistencia al cortante tangencial ( $R_c$ ) y diferentes propiedades físicas promedio, de un *Acrudoxic melanudands*, a 20 cm de profundidad.

| Factores variables | $R_c$                    |       |
|--------------------|--------------------------|-------|
|                    | 0 – 20 cm de profundidad |       |
|                    | $r$                      | $R^2$ |
| Ar                 | -0,94**                  | 0,88  |
| L                  | 0,91**                   | 0,83  |
| LP                 | -0,87*                   | 0,76  |

**Tabla 3.** Coeficientes de correlación lineal simple ( $r$ ) y de determinación  $R^2$  entre la resistencia al cortante tangencial ( $R_c$ ) y propiedades físicas promedio diferentes, de un *Acrudoxic melanudands*, de 20 cm a 120 cm de profundidad.

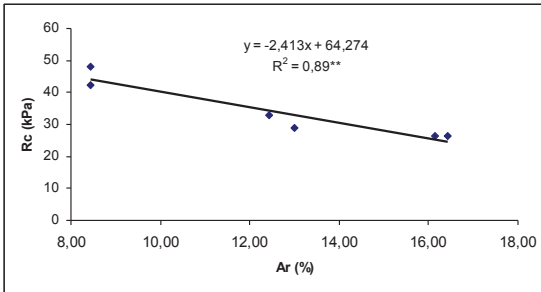
| Factores variables | $R_c$                      |       |
|--------------------|----------------------------|-------|
|                    | 20 – 120 cm de profundidad |       |
|                    | $r$                        | $R^2$ |
| Ar                 | -0,60**                    | 0,36  |
| A                  | 0,47*                      | 0,22  |
| $\theta_g$         | -0,54**                    | 0,29  |
| Da                 | 0,48*                      | 0,23  |
| Dr                 | 0,50*                      | 0,25  |
| LL                 | -0,58**                    | 0,34  |
| LP                 | -0,58**                    | 0,34  |
| Dp                 | 0,65**                     | 0,42  |

entre la resistencia al cortante tangencial y la humedad gravimétrica entre 20 a 120 cm de profundidad ( $r = -0,54$  y  $R^2 = 0,29$ ) (Tabla 3), lo que define que a mayor contenido de humedad en el suelo menor es la resistencia de éste a los deslizamientos. El contenido de limo presentó correlación directa con la resistencia al cortante tangencial, con un coeficiente de determinación de 0,83 ( $p < 0,001$ ) (Tabla 2), mostrando como la alta presencia de limo en los suelos, favorece su resistencia a los deslizamientos, pero infiere alta susceptibilidad a la erosión. La relación directa entre el contenido de limo y la resistencia al cortante tangencial fue similar a la encontrada por Spivey *et al.* (12), en nueve suelos con bajos contenidos de materia orgánica.

Lo anterior indica que contenidos altos de arcilla y humedad disminuyen la capacidad del suelo para soportar cargas o esfuerzos cortantes. La relación inversa registrada entre el contenido de arcilla y la resistencia al cortante tangencial como se muestra en la

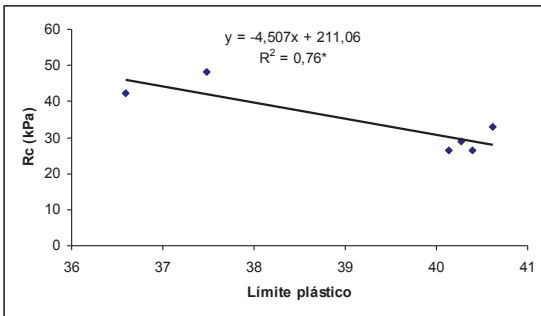
Figura 1, concuerda con lo reportado por Rivera (9), quien determinó la resistencia al cortante tangencial hasta los 20 cm de profundidad, en cinco suelos de la zona cafetera colombiana, bajo tres usos, encontrando una relación similar entre la resistencia al cortante tangencial y el contenido de arcilla ( $r = -0,93$  y  $R^{2**} = 0,86$ , altamente significativo).

Los valores de límite plástico a la profundidad de 0 – 20 cm presentaron una correlación negativa y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,76$  ( $p < 0,5$ ) (Tabla 2), lo cual indica que la presencia de agua en las laderas es uno de los principales agentes causantes de los deslizamientos. Situación similar se encontró a la profundidad de 20 – 120 cm, con los límites líquido y plástico, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,34$  ( $p < 0,001$ ) para ambos índices (Tabla 3). En la Figura 2, para la profundidad del suelo entre 10 – 20 cm, se observa una relación inversa entre la resistencia al cortante tangencial y el índice límite plástico, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0,76$  ( $p < 0,05$ ), mostrando



**Figura 1.**

Relación entre el porcentaje de arcillas (Ar) y la resistencia al cortante tangencial del suelo (RC) (20 cm de profundidad). \*\*Altamente significativo  $P < 0,001$



**Figura 2.**

Regresión lineal simple entre el límite plástico y la resistencia al cortante tangencial del suelo (RC) (10 a 20 cm de profundidad). \* Significativo ( $Pr < 0,05$ ).

que a mayores cantidades de agua dentro del perfil del suelo mayor es su susceptibilidad a los deslizamientos. Según Suárez (13), entre más plástico sea el material mayor será su potencial de expansión y menor su resistencia al cortante tangencial (Figura 2), lo cual concuerda con los resultados del presente estudio, pues en las profundidades clasificadas como no plásticas (80 y 120 cm) la resistencia al cortante tangencial fue 27% y 57% superior a la obtenida en la profundidad de 20 cm, la cual presentó un grado leve de plasticidad. Lo anterior explica la baja ocurrencia de movimientos masales profundos en suelos de la unidad Chinchiná, *Acrudoxic melanudands*, comparado con otras unidades de suelo, con textura arcillosa.

Mediante análisis de regresión lineal múltiple, utilizando el método de selección stepwise (Tablas 4 y 5), se encontró que para las condiciones del estudio, la mejor estimación de la resistencia al cortante tangencial se puede lograr aplicando el modelo:

$$R_c = 477,8 - 7,356EA + 308,6Da,$$

Donde EA es la estabilidad de la agregación y Da la densidad aparente del suelo.

El modelo tiene en cuenta la estabilidad de la agregación (EA) y la densidad aparente (Da), propiedades que están relacionadas en forma directa o indirecta con la resistencia al cortante tangencial y otras propiedades físicas del suelo como la granulometría y el índice de plasticidad, entre otras. Estos modelos son importantes para la estimación de la resistencia al cortante tangencial del suelo, de una manera más rápida y económica, para lo cual y si se requiere hacer extrapolaciones, deben realizarse estudios similares en una mayor cantidad de suelos de la Zona Cafetera Colombiana, contrastantes en sus propiedades físicas y químicas.

**Tabla 4.** Resultados de la regresión lineal múltiple.

| Estadísticas de la regresión           | Valores |
|----------------------------------------|---------|
| Coefficiente de determinación          | 0,73    |
| Coefficiente de determinación ajustado | 0,69    |
| Coefficiente de variación              | 16,18   |
| Observaciones                          | 17      |
| Pr>F                                   | 0,0001  |

**Tabla 5.** Coeficientes de regresión.

| Parámetro                | Coefficiente | Error estándar | Pr>  T |
|--------------------------|--------------|----------------|--------|
| Intercepto ( $\beta_0$ ) | 477,8        | 118,6          | 0,0012 |
| EA ( $\beta_1$ )         | -7,356       | 1,548          | 0,0003 |
| Da ( $\beta_2$ )         | 308,6        | 50,04          | 0,0000 |

En cuanto a la densidad aparente, los resultados concuerdan con lo reportado por Marshall *et al.* (6) y Seguel *et al.* (10) quienes encontraron que la resistencia al cortante tangencial usualmente tiende a incrementarse con el aumento de la densidad aparente. Por lo general, en suelos de cenizas volcánicas, dedicados a la agricultura, la densidad aparente del primer horizonte u horizonte orgánico, es baja con respecto a los horizontes más profundos, ya que es la zona donde se encuentran establecidos los cultivos y la mayor actividad de microorganismos y con ella, una alta porosidad del suelo. Es así como a medida que se profundiza dentro del perfil del suelo es mayor la densidad aparente, de ahí el incremento de la resistencia al cortante tangencial. Esto indica que la ecuación de resistencia al cortante tangencial está diseñada para la cimentación de estructuras pesadas de concreto.

Los primeros horizontes del suelo o en ocasiones toda la capa de cenizas volcánicas, al ser blandas y presentar densidad aparente y resistencia al cortante tangencial bajas, no indican, que el suelo sea inestable, sino que no posee la capacidad para soportar estructuras demasiado pesadas, ya que su resistencia a la compresión es muy baja, razón por la cual no se consideran importantes para cimentaciones pesadas, y por lo tanto, son decapitadas, para colocar las estructuras en el basamento sobre el cual se depositaron las cenizas.

Esto indica, que para la estabilización de laderas a los movimientos en masa en suelos de cenizas volcánicas, no debe utilizarse maquinaria pesada sobre la corona de los taludes, ya que con ella, puede colapsar el terreno y acelerarse los procesos de movimientos en masa, haciendo más costosa la solución o convirtiendo el problema en una situación crónica, que no es posible solucionar bajo dichas estrategias.

Lo más recomendable en el manejo de estos suelos es disturbar lo menos posible y hacer la estabilización preferiblemente en forma manual y con obras livianas de bioingeniería. Por lo regular, en forma generalizada, se está aplicando una ecuación generada para anclar estructuras pesadas, principalmente de concreto, sin importar la protección del agua y la biodiversidad. Al utilizar la ecuación de resistencia al cortante tangencial, no se tienen en cuenta otros parámetros alternativos integrales, que dan estabilidad natural al suelo a los movimientos en masa, tales como la materia orgánica que mejora la cohesión del suelo al obrar como un puente de unión entre cargas negativas y positivas para formar los agregados del mismo, aumentando la estabilidad del suelo a la erosión y a los deslizamientos. Así mismo, no se valora la influencia positiva en la cohesión del suelo ejercida por la presencia de materia orgánica,

los ácidos urónicos y poliurónicos, y sustancias gelatinosas producidas por hongos, bacterias y actinomicetos, la influencia de las hifas de los hongos como refuerzo mecánico junto con el sistema radical de la vegetación multistrata, entre otras, que intervienen en la resistencia de los suelos a los deslizamientos. Por lo tanto, la ecuación orienta pero no brinda la solución integral en problemas de erosión y movimientos en masa, ya que si se utiliza con esos criterios, a costos muy altos, se tendría que decapitar toda la capa orgánica y demás horizontes, hasta llegar al basamento que soporta las cenizas que los cubren, con pérdida de la biodiversidad de flora y fauna. Si no se efectúa una adecuada interpretación de la ecuación todas las vertientes de las tres cordilleras que atraviesan el país, se tendrían que cubrir de obras de concreto, lo que conduciría a perder el área útil para el desarrollo de los cultivos y la ganadería.

Lo anterior indica que antes de tomar una decisión para prevenir o controlar un problema de movimiento en masa, y en razón a que no todas las condiciones ecológicas son iguales, debe realizarse previamente un inventario y diagnóstico integral a la luz de las relaciones: Roca – Suelo – Topografía – Clima – Vegetación – Animal – Infraestructura – Hombre, que permita determinar la relación: Causa – Efecto del proceso degradativo. Esto permitirá interpretar dentro de la ecuación de resistencia al cortante tangencial qué parámetros están induciendo a la ruptura de la ladera o movimiento en masa, lo que conduciría a soluciones rápidas, eficaces, eficientes efectivas y económicas.

Puede concluirse que:

- Por lo general los suelos derivados de cenizas volcánicas, por sus propiedades físicas, químicas y biológicas, son estables a los movimientos en masa, aunque no tanto a la erosión, si se ha perdido la materia orgánica.

- Los resultados muestran que no es conveniente hacer generalizaciones en las obras para la prevención y estabilización de los suelos contra la erosión y los movimientos masales.

- No se debe generalizar el uso de la ecuación de resistencia al cortante tangencial sólo para el establecimiento de estructuras de concreto, en soluciones contra los deslizamientos, prescindiendo de los horizontes productivos del suelo.

- Antes de usar los resultados de la ecuación de resistencia al cortante tangencial, debe hacerse una interpretación previa de cada uno de sus parámetros para determinar cuáles de ellos están influyendo en el proceso degradativo, para atacarlo en forma eficiente, eficaz y económica.

- Para la estabilización de laderas a los movimientos masales en suelos de cenizas volcánicas, no se debe utilizar maquinaria pesada sobre la corona de los taludes, ya que con ella, pueden acelerarse los procesos de movimientos en masa, haciendo más costosa la solución o convirtiendo el problema en una situación crónica que no se soluciona bajo dichas estrategias.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a las Disciplinas de Suelos e Ingeniería Agrícola de Cenicafé, a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, a los doctores Miguel E. Cadena y Franco Humberto Obando, y al personal de la Estación Central Naranjal.

## LITERATURA CITADA

1. FAO. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles. Guía FAO de conservación 13/5 Roma, 1990. 234 p.
2. GAVANDE, S.A. 1986. Física de suelos. Principios y aplicaciones. Mexico ed. Limusa, S.A. de C.V. 351 p.

3. GRAY, D. H. y SOTIR, R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering: Slope Stabilization, A practical guide for erosion control. John Wiley & Sons. 378 p.
4. KANDIAH, A. 1979. Influence of soil properties and crop cover on the erodibility of soil. In: Lal, R.; GREENLAND, D.J. Ed. Soil Physical properties and crop production in the tropics. Chichester (Inglaterra), John Wiley & Sons. pp 475 – 487.
5. MÁRQUEZ, C. G. 1982. Propiedades ingenieriles de los suelos. Cuarta impresión. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Medellín. 243 p.
6. MARSHALL T.J.; HOLMES J.W; ROSE C.W. 1996. Soil physics. 3th Ed., Cambridge University Press. 453 p.
7. MBAGWU, J.S.C.; ABEH, O.G. 1998. Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. Soil Science 163(2):93-102.
8. MONTENEGRO, G. H.; MALAGÓN, C. D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC, subdirección agrológica. Bogotá. 813 p.
9. RIVERA P., J.H. 1999. Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera central colombiana. Medellín (Colombia), Universidad Nacional. Facultad de Minas. 525 p. (Tesis: Philosophy Doctor).
10. SEGUEL S., O; ORELLANA S., I; ELLIES S., A. 2004. Propiedades físico-mecánicas dependientes de la génesis en suelos derivados de cenizas volcánicas. In: CONGRESO Latinoamericano, 16; Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 12. Cartagena (Colombia), Septiembre 26 - Octubre 1, 2004. Programa y memorias. Bogotá (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 6p.
11. SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. Soil survey manual. USDA Handbook No. 18, US Govt. Printing Office, Washington, DC. 437 p.
12. SPIVEY, L.D., Jr; BUSSCHER, W.J; CAMPBELL, R.B. 1986. The effect of texture on strength of Southeastern Coastal Plain soils. Soil Tillage Research 6:351-363.
13. SUÁREZ D., J. 1998. Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Bucaramanga. 548 p.
14. TRAGSA Y TRAGSATEC. 1994. Restauración hidrológico – forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid. 902 p.

# SISTEMA OPTO-ELECTRÓNICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FRUTOS DE CAFÉ POR ESTADOS DE MADURACIÓN

Paula Jimena Ramos-Giraldo\*; Juan Rodrigo Sanz-Uribe\*; Jorge Hernán Estrada-Estrada\*\*

---

## RESUMEN

**RAMOS G., P.J.; SANZ U., J.R.; ESTRADA E., J.H. Sistema opto-electrónico para la identificación de frutos de café por estados de maduración. Cenicafé 62(1) 87-99:2011.**

Para obtener mejor calidad en la materia prima de café cosechada, antes del proceso de beneficio, se remueven los frutos de café que ocasionan mala calidad de la bebida. Actualmente, se utiliza clasificación por densidad para separar los frutos e impurezas que son menos densos que el agua, como frutos secos, vanos, afectados severamente por la broca o provenientes de árboles con enfermedades, hojas y trozos de rama; los frutos inmaduros, causantes de mala calidad en taza a partir de un contenido de 2,5% en la masa cosechada, no son retirados de esta manera, por lo que la separación de éstos se realiza en la zaranda después del proceso de despulpado. Esta clasificación por tamaño separa gran cantidad de granos inmaduros, frutos secos y trozos de pulpa, pero tiene el problema que envía granos grandes con aquellos de mala calidad, y frutos inmaduros pequeños con los granos de buena calidad. Con el fin de separar los frutos de café en cinco estados de madurez inmaduro, pintón, maduro, sobremaduro y seco, se desarrolló un sistema electrónico análogo para el reconocimiento de los frutos de café y un algoritmo de identificación de estados de maduración, basado en tres niveles de voltaje, como señal de salida de tres diferentes fotorresistencias cubiertas con pintura acrílica roja, verde y azul. En condiciones controladas el sistema muestra una diferenciación total de los cinco estados de madurez.

**Palabras clave:** Clasificación, inmaduro, pintón, maduro, sobremaduro, seco.

---

## ABSTRACT

In order to obtain the best raw matter, coffee fruits that give bad quality are removed before the wet processing. Currently, density methods are used to remove fruits and impurities lighter than water, such as dry fruits, vane fruits, fruits bored by insects, fruits coming from unhealthy plants, leaves and parts of branches. However, immature fruits, which also affect the beverage quality, are not removed by density because they are denser than water. Immature fruits are separated by size in screens, once the fruit outer skin is removed in pulping machines, although size classification has the disadvantage that some big and healthy beans are included within the rejected material, and some immature fruits keep into the process main flow. In this research work an electronic device was developed to identify coffee fruits in five different maturation stages: immature, undermature, mature, overmature and dry fruits. The algorithm within the electronic device worked giving three states at the output voltage of three different photo resistances coated with red, green and blue varnishes. Under controlled conditions, the system achieved a total differentiation among the five maturation stages.

**Keywords:** Otoelectronic, sorting machina, coffee beans, maduration stages.

---

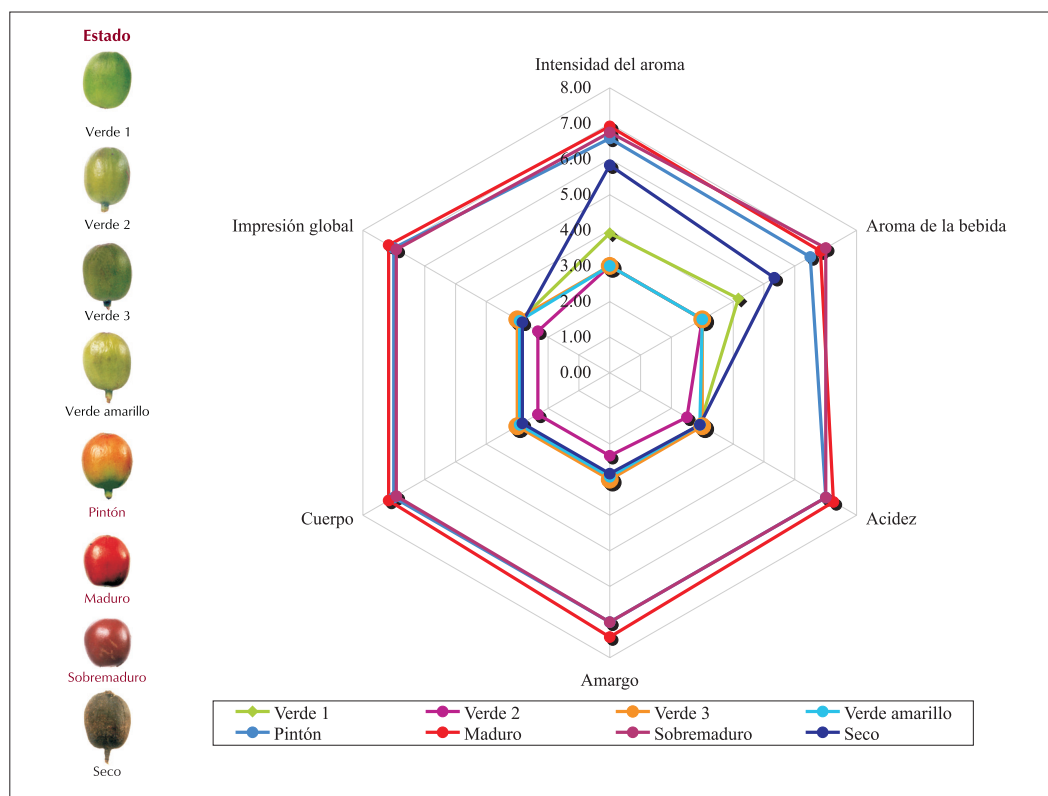
\* Investigador Científico I e Investigador Científico II, respectivamente. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

\*\*Docente Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

La calidad en taza del café se encuentra directamente ligada al tipo de materia prima que se procese en el beneficiadero. Marín *et al.* (2) reportan calificaciones en taza para diferentes estados de desarrollo de los frutos de café, siendo mejor calificada para frutos maduros, inferior para sobremaduros y deteriorada para frutos pintones y verdes.

Son muchas las características físicas que logran diferenciar un fruto de café por su estado de madurez, a lo largo de las 32 semanas de desarrollo, entre ellas se encuentra la masa y el tamaño (4), la firmeza polar y ecuatorial, la fuerza de remoción y un cambio notorio de color para *Coffea arabica* L., variedad Colombia de fruto rojo (2).

Garantizar homogeneidad de la materia prima en el beneficio depende tanto del proceso de recolección como de los procesos de clasificación que se dispongan antes y después del despulpado. Con respecto a la recolección, la amplia oferta de frutos a lo largo del año hace que esta labor sea selectiva, pues los recolectores deben cosechar solo frutos maduros y evitar la recolección de frutos verdes, de tal forma que éstos no superen el 2,5% de frutos en la masa cosechada, para asegurar la calidad de la bebida (3); esta estricta selectividad hace que la recolección represente el 40% de los costos totales de producción de café, de una finca cafetera en Colombia.



**Figura 1.** Calificación de taza para los diferentes estados de madurez del fruto de café (2).

En la búsqueda de disminuir este porcentaje y hacer más eficiente la labor de recolección, en la Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé se han desarrollado dispositivos y tecnologías para asistir la cosecha manual de café, para semi-mecanizarla con equipos motorizados y portátiles, y para mecanizarla con máquinas de mayor tamaño que desprenden masivamente frutos de café; sin embargo, el factor más determinante en las tecnologías mencionadas es el aumento del contenido de frutos inmaduros en la masa cosechada, por encima del umbral (2,5%) aceptado para mantener la calidad en taza de la bebida.

Actualmente, los procesos de clasificación implementados en una finca cafetera, buscan disminuir el efecto de frutos indeseados en la materia prima, diferenciando de los frutos deseados aquellos indeseados, como por ejemplo, frutos vanos, secos y atacados por broca, los cuales pueden ser retirados mediante clasificación hidráulica, y frutos pintones y verdes pueden ser clasificados por tamaño en zaranda o por su firmeza, en una clasificadora de verdes. No obstante, estas clasificaciones binarias consideran dos clases, los frutos deseados y los frutos indeseados, sin tener en cuenta las posibles particularidades presentes en cada estado de desarrollo de los frutos de café. Un factor que claramente diferencia un estado de madurez de otro, es el color, a través de éste se determina a simple vista si el fruto es inmaduro, pintón, maduro, sobremaduro o seco.

Sin embargo, el color no es una característica de un objeto, es una apreciación subjetiva humana, que se genera en respuesta a la estimulación del ojo por la energía luminosa de ciertas longitudes de onda. El color se explica como un fenómeno físico de la luz, que corresponde a una energía electromagnética en el rango de 400 a 700 nm (Figura 2). Cuando la luz blanca, que comprende todo el

rango del color, incide sobre un cuerpo, éste refleja tan solo algunos valores de energía electromagnética.

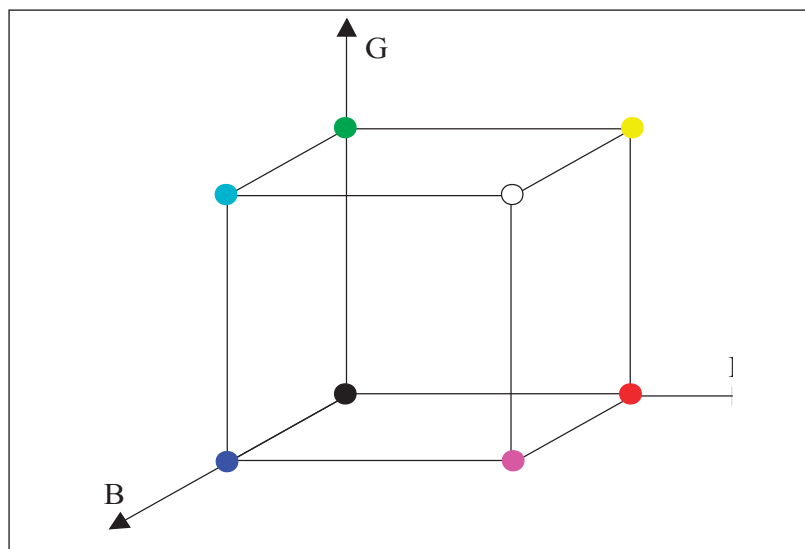
A pesar de ser una percepción subjetiva, se ha estandarizado la medición del color a través de diferentes representaciones, como RGB (Red, Green, Blue), YUV (Luminancia y crominancia), CMYK (Cian, Magenta, Yellow y Black) y HSV (Hue, Saturation y Value), de acuerdo con González y Woods (1). Una de las representaciones comúnmente utilizada es la RGB, con ella se recrea la medición fisiológica humana del color, imitando la percepción de la componente roja, verde y azul, de las células llamadas conos en el ojo humano. Cualquier color en la naturaleza puede ser representado por medio de tres componentes de color (Tabla 1) (Figura 2); el valor de cada componente varía dependiendo del sistema numérico usado y la fuente de iluminación sobre el objeto observado.

En este artículo se describe el diseño y la construcción de un dispositivo electrónico

**Tabla 1.** Representación de colores con componentes RGB.

| Color    | Componente |     |     |
|----------|------------|-----|-----|
|          | R          | G   | B   |
| Negro    | 255        | 255 | 255 |
| Rojo     | 255        | 0   | 0   |
| Verde    | 0          | 255 | 0   |
| Azul     | 0          |     | 255 |
| Cian     | 0          | 255 | 255 |
| Magenta  | 255        | 0   | 255 |
| Amarillo | 255        | 255 | 0   |
| Blanco   | 255        | 255 | 255 |

**Figura 2.**  
Cubo de  
representación  
RGB. González y  
Woods (1).



que logra diferenciar el color sobre los frutos de café e interpretarlos con relación a su estado de madurez. Con el fin de tener un dispositivo que sea económico para el caficultor, fueron utilizados sensores sencillos para medir intensidad lumínica (fotoresistencias) y filtros de color rojo, verde y azul. Dichos sensores, son resistores fotodependientes, LDR, cuya resistencia varía de acuerdo con la intensidad de luz que logre entrar en el dispositivo, el tiempo de respuesta es lento y presentan inercia a las variaciones, pues el estado actual depende el estado anterior. Los sensores fotosensibles responden a todo el espectro de luz visible, por esta razón es necesario disponer de filtros de color sobre cada uno de ellos para medir una o varias componentes de color.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el laboratorio de Ingeniería Agrícola de Cenicafé, ubicado en Manizales (Caldas) a una altitud de 1.310 m, con un promedio de temperatura de 20,6°C y humedad relativa de 75%.

La investigación se desarrolló en tres fases: I. Diseño del dispositivo, II. Construcción del dispositivo, III. Caracterización de frutos de café con el dispositivo desarrollado

### Fase I. Diseño del dispositivo

El dispositivo electrónico desarrollado consta de dos partes fundamentales. La primera consiste en un sistema de medición de color conformado por sensores fotosensibles (fotoresistencias), filtros de color RGB y una fuente de iluminación controlada. La segunda consta de un sistema de interpretación de las señales entregadas por el sistema de medición de color, la cual recibe el nombre de sistema tricanal, por procesar tres componentes de color RGB.

**Medición del color.** El sistema de medición de color tuvo como requerimiento de diseño medir el color sobre un fruto de café en un barrido de 360° sobre la línea de ecuador del fruto (Figura 3). Para esto se diseñaron dos coronas de iluminación y un anillo de

sensores dispuesto entre las coronas, como se observa en la Figura 3.

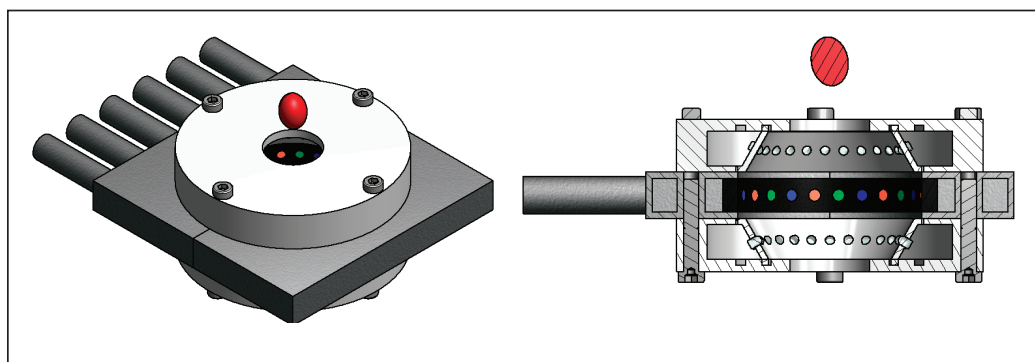
El sistema de iluminación conformado por una corona superior y otra corona inferior, constó de 48 LED's (*Light Emitting Diode*) de luz blanca, con un punto de convergencia de luz a  $\pm 60^\circ$  de cada corona, este ángulo de inclinación se calculó conforme al foco del sistema de medición, que se relaciona con la ubicación entre coronas del anillo de sensores fotosensibles y filtros de color RGB.

Como fuente de luz se seleccionó el LED, por sus grandes ventajas sobre lámparas comunes, su bajo requerimiento de energía, su mantenimiento casi nulo y una vida útil aproximada de 100.000 horas. Cada corona de iluminación contó con un regulador de corriente, el cual garantizó una adecuada intensidad luminosa de 180 mcd (milicandelas) para cada LED, y 20 mA de corriente para circular por cada uno de los LEDs. Además, debido al ángulo de radiación del tipo de LED usado,  $30^\circ$  y  $60^\circ$ , se garantizó el punto de convergencia de la luz o foco del sistema de medición de color. El sistema de iluminación diseñado requirió de 960 mA

para su correcto funcionamiento y generó alrededor de 8.640 mcd en total.

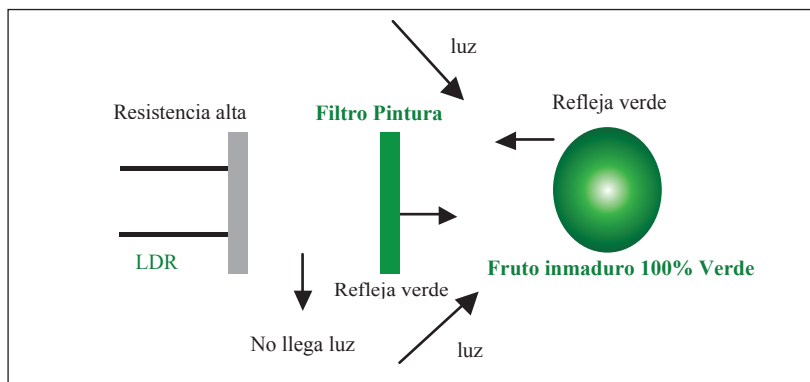
El fruto pudo observarse con un barrido de  $360^\circ$ , cuando éste se encontraba dentro del área de influencia del foco, de esta manera se garantizó que su color fuera adquirido por los sensores fotosensibles y los filtros de color dispuestos en cada sensor.

Cada sensor dispuesto en el anillo estuvo acompañado de pintura acrílica roja, verde o azul, que filtra algunas componentes de color y deja pasar otras. Tal como se observa en la Figura 4, un sensor fotosensible pintado con pintura acrílica de color verde, sólo responde a las componentes roja y azul que atraviesen la pintura, la componente verde se refleja en la misma y no llega al sensor. En el anillo de sensores se dispusieron 24 fotoresistencias, pintadas de forma intercalada en las tres componentes de color, los sensores pintados con una misma componente de color hicieron parte de un solo circuito electrónico en el sistema general. La respuesta de los sensores es directamente proporcional a la luz recibida y su variación a la luz es resistiva. Estos sensores se conocen como resistencias LDR



**Figura 3.** Medición del color. Coronas de iluminación, anillo de sensores y fruto.

**Figura 4.**  
Sistema sensor filtro  
de color con pintura  
acrílica.



(*Light Dependent Resistor*) y se caracterizan por su disminución de resistencia a medida que aumenta la luz que incide sobre ellas y por la inercia a las variaciones de la intensidad luminosa. En este estudio con el uso del filtro se buscó evitar que la luz correspondiente a la longitud de onda del filtro pasara al sensor, de esta manera si el color de la pintura acrílica era verde, el filtro rechazaría las componentes correspondientes a este color, y no llegaría la luz al sensor, por lo que su resistencia aumentaría.

**Sistema de interpretación de señales RGB (Sistema tricanal).** Este sistema se encargó de traducir la señal resistiva entregada por los sensores, en cada una de las componentes de color RGB, con el fin de procesarlos y obtener señales confiables del fenómeno físico (color).

La señal resistiva de cada componente de color se convirtió en señal de voltaje, con el fin de transferirla a otros sistemas para procesarla. Posteriormente, se amplificó y se extrajo información espuria por medio de un filtro. Este proceso se realizó con el fin de acondicionar la señal para tener de forma depurada la información de color sobre la superficie del fruto.

El sistema tricanal entregó tres señales de voltaje, correspondientes a las componentes de color RGB de los frutos, además entregó una señal de presencia, que indicaba si había o no un objeto en el punto de convergencia o foco. Los subsistemas que conformaron el sistema tricanal fueron:

*Adquisición:* La resistencia entregada por los sensores es variable y depende del color observado por el sistema, la naturaleza resistiva de la información imposibilita la transmisión de la misma a otros subsistemas, por esto al momento de adquirirla debe convertirse en una señal eléctrica de voltaje o corriente, y así poder transmitirla para su procesamiento. Para lo anterior se diseñó una fuente de corriente constante, la cual circuló a través de la resistencia entregada por los sensores y generó una señal de voltaje proporcional al color observado por el sistema (Figura 5).

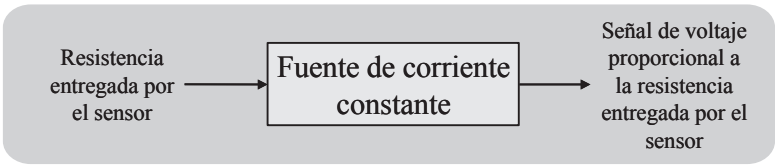
*Amplificación:* La señal de voltaje obtenida en el sistema de la Figura 6, es del orden de milivoltios y con el fin de tenerla en el orden de voltios para interpretarla con la información de color, se amplificó por medio de un sistema basado en amplificadores operacionales comunes.

*Filtrado de la señal:* Al amplificar la señal de voltaje, el sistema aumenta la sensibilidad a los cambios externos de iluminación y a impurezas dentro del sistema de medición, por esta razón se diseñó un sistema de filtrado, donde sólo la información relevante de color estuvo a la salida del sistema optoelectrónico diseñado, mientras que las señales espurias fueron filtradas por el sistema a través de un amplificador antilogarítmico, el cual tuvo una ganancia en función del voltaje de entrada al mismo. El amplificador antilogarítmico es un circuito no lineal y el voltaje de salida es proporcional al exponente del voltaje de entrada. El esquema de este sistema se observa en la Figura 7. Este filtrado fue proporcional a la magnitud de la señal, es decir, para señales pequeñas que indican

ausencia de color, el filtrado no permitió que pasara la señal, y para señales grandes que indican presencia del color, el filtrado las dejó pasar. Un ejemplo del funcionamiento de este amplificador usado como filtro puede observarse en la Figura 8.

El proceso descrito se llevó a cabo para obtener las señales de voltaje correspondientes a los colores rojo, verde y azul, es decir, tres sistemas como los descritos anteriormente para cada canal (Figura 9).

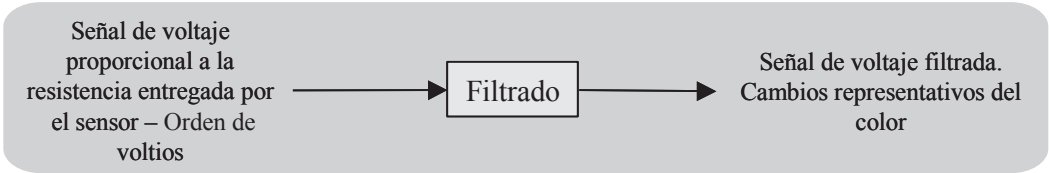
Además, existe una señal llamada presencia, que se forma por la suma de las señales de voltaje después de ser amplificadas; esta señal indica si existe o no presencia de un objeto dentro del sistema optoelectrónico. Para



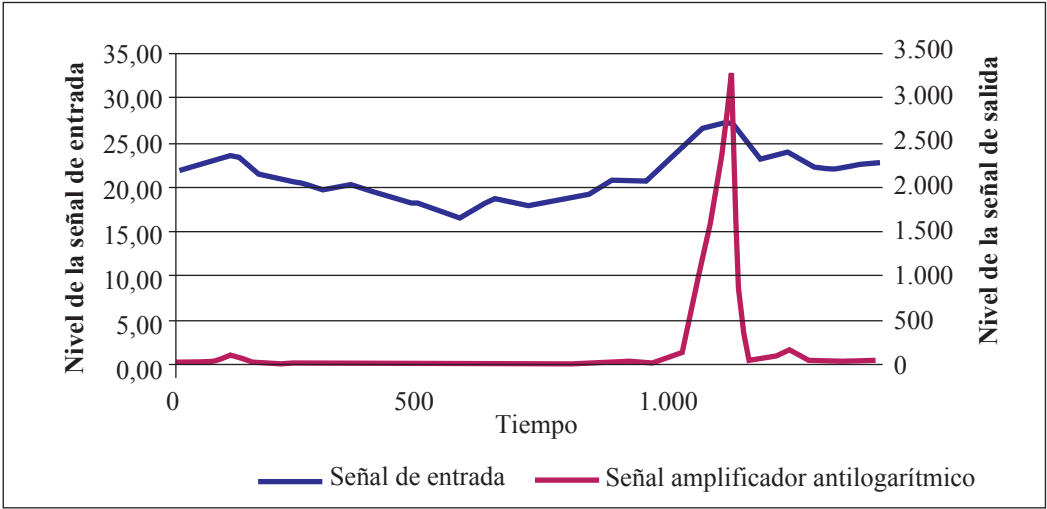
**Figura 5.** Fuente de corriente constante. Conversión de resistencia a voltaje del sensor.



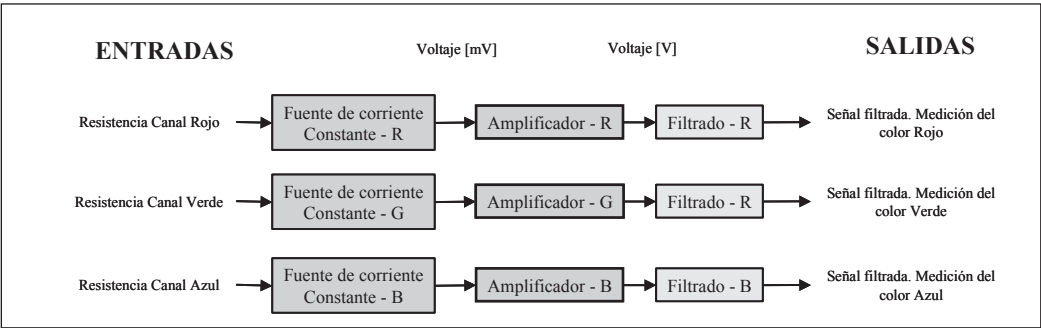
**Figura 6.** Amplificador de señal.



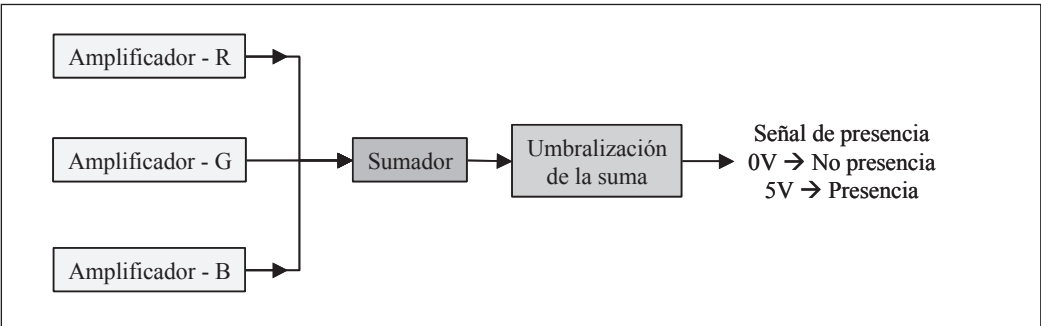
**Figura 7.** Amplificador antilogarítmico – Filtrado de señal.



**Figura 8.** Funcionamiento del amplificador antilogarítmico como filtro de la señal.



**Figura 9.** Medición de color por medio de señales de voltaje en las componentes RGB.



**Figura 10.** Circuito que genera la señal de presencia de un objeto dentro del sistema optoelectrónico.

obtener esta señal se utilizó el amplificador operacional en modo sumador, la salida de este sistema estuvo dada por una combinación lineal de cada una de señales de voltaje amplificadas y fue umbralizada de tal forma que si la suma superaba un valor de la señal de presencia tomaba el valor de 5V, de lo contrario, esta señal permaneció en 0V.

### **Fase II. Construcción del dispositivo**

El sistema de medición de color se construyó con el sistema tricanal (Figura 11).

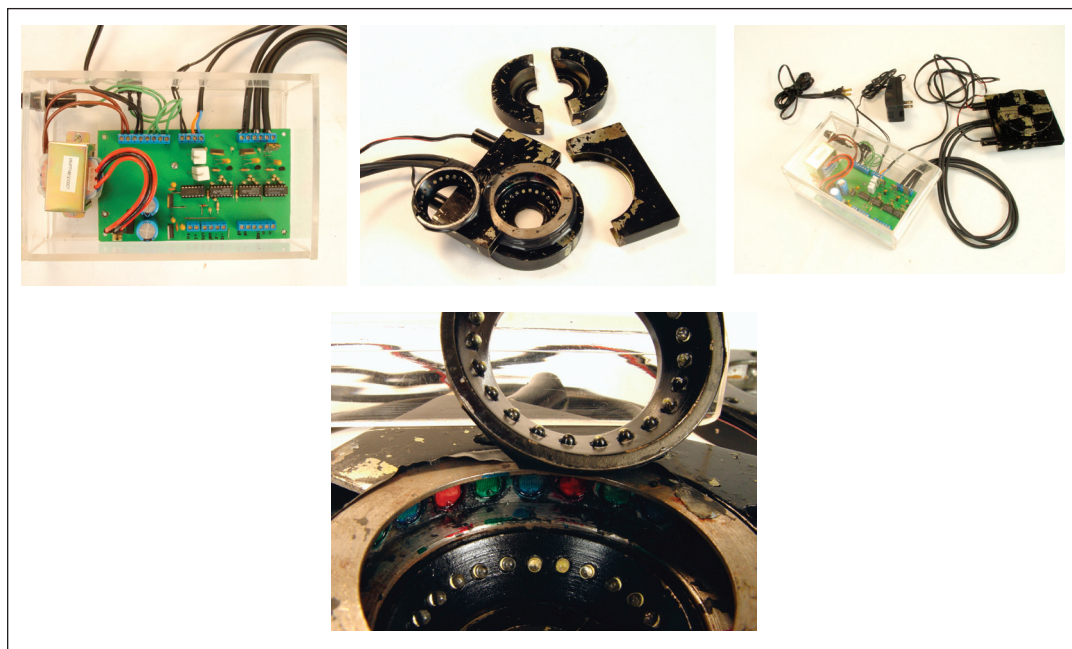
### **Fase III. Caracterización de frutos de café con el dispositivo desarrollado**

Como fase final del desarrollo se realizó una caracterización con 15 frutos de café, tres para

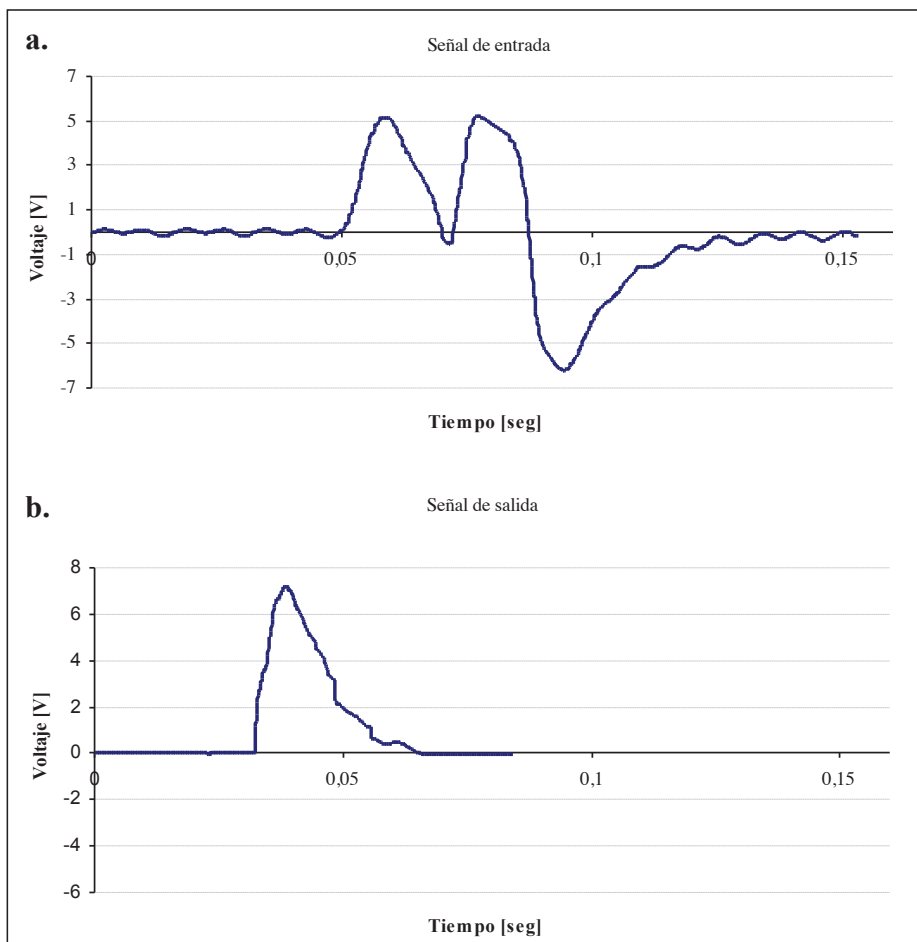
cada estado de maduración y se determinaron los valores de voltajes característicos para cada estado de madurez, en cada canal de color y la relación entre ellos para determinar la maduración.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las señales (voltaje en el tiempo) resultantes del diseño del analizador se presentan en la Figura 12, donde se observa la señal típica después de ser amplificada (Figura 12a) y filtrada (Figura 12b). La señal que contiene la información depurada del color sobre un fruto es la señal filtrada, ésta es utilizada para realizar la caracterización del color sobre los frutos y buscar una relación con su estado de madurez.



**Figura 11.** Sistema de medición del color completamente construido.



**Figura 12.** Señales eléctricas en presencia de frutos de café. **a.** Amplificada; **b.** Filtrada.

Para probar el sistema optoelectrónico se usaron tres frutos de café por estado de maduración, es decir, tres frutos inmaduros, tres pintones, tres maduros, tres sobremaduros y tres secos, teniendo un total de 15 frutos analizados por medio del sistema optoelectrónico. Los frutos se introdujeron en el visor por medio de punzón y se dejaron dentro de él, aproximadamente durante un segundo. Las señales obtenidas estuvieron en el rango de 0V a 5V; sin embargo, la señal de voltaje no fue repetible para cada estado de maduración, aunque el rango de

variación se mantuvo entre estados. Por esta razón, fue necesario definir niveles de voltaje bajo, medio y alto, para encontrar la variación de cada estado de maduración. Los tres niveles definidos fueron:

Nivel bajo (0)  $\rightarrow 0V \leq \text{Voltaje señal filtrada} < 1V$

Nivel medio (1)  $\rightarrow 1V \leq \text{Voltaje señal filtrada} < 3V$

Nivel alto (2)  $\rightarrow 3V \leq \text{Voltaje señal filtrada} \leq 5V$

En la Tabla 2 se observa el comportamiento de los niveles para cada estado de maduración.

**Tabla 2.** Respuesta del sistema tricanal por niveles.

| Canal señal filtrada | Maduración |            |        |             |       |
|----------------------|------------|------------|--------|-------------|-------|
|                      | Inmaduro   | Pintón     | Maduro | Sobremaduro | Seco  |
| Rojo                 | Bajo       | Medio-Alto | Alto   | Medio       | Bajo  |
| Verde                | Alto       | Medio      | Bajo   | Bajo        | Bajo  |
| Azul                 | Medio      | Bajo       | Medio  | Medio       | Medio |

Bajo: 0 - 1 Voltios; Medio: 1 - 3 Voltios; Alto: 3 - 5 Voltios

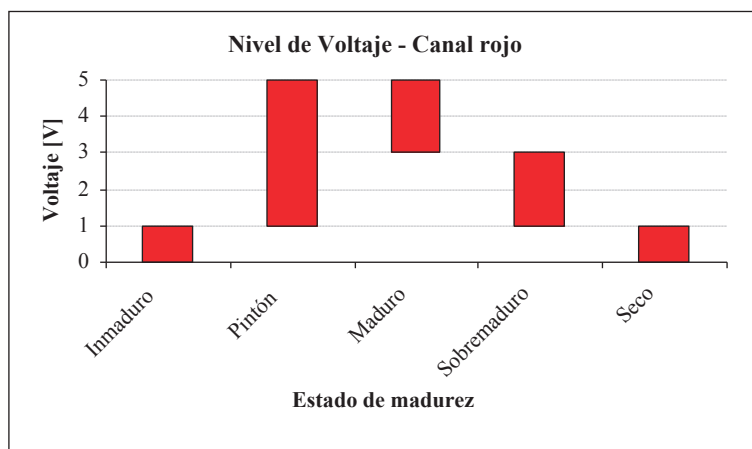
De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 13, el canal rojo presentó valores altos de voltaje para los estados de madurez maduro y pintón, valores medios para los sobremaduros y pintones, y valores bajos de voltaje para los inmaduros y secos. Un efecto similar se observó en el canal verde, donde los valores altos de voltaje se mostraron en los frutos inmaduros, los valores medios en los pintones, y valores bajos en los maduros, sobremaduros y secos. Para el canal azul no hubo valores altos de voltaje, solo medios y bajos.

Al observar el comportamiento de los estados de madurez con relación a la combinación de niveles de voltaje de los tres canales, rojo, verde y azul, se tienen 27 posibles combinaciones, de las cuales solamente seis indican estado de madurez inmaduro, pintón, maduro, sobremaduro y seco (Tabla 3). De esta forma, cada estado de madurez mostró una combinación de niveles que no se repite, por esto el sistema identificó estados de maduración añadiéndole un sistema comparador. En las Figura 13, 14 y 15 puede observarse el comportamiento de los estados de madurez respecto al nivel de color medido por el analizar óptico.

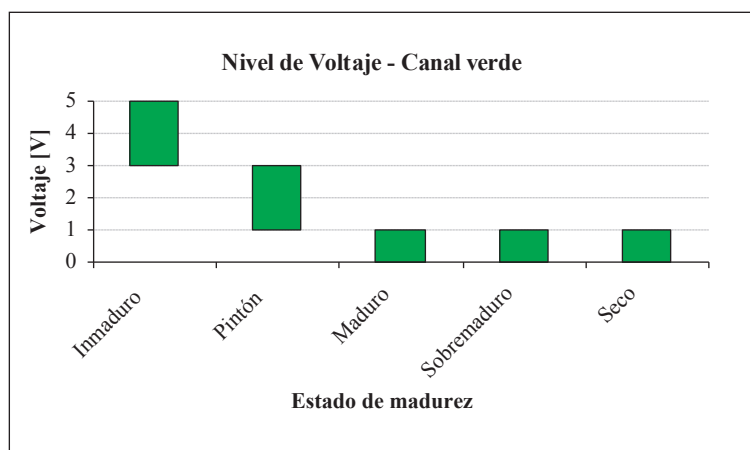
Debido a que el canal azul no entrega una diferenciación por estados de madurez, solo pudo programarse el sistema optoelectrónico con los canales rojo y verde, debido a que

**Tabla 3.** Combinación de niveles de voltaje para los diferentes canales de color y su relación con el estado de madurez

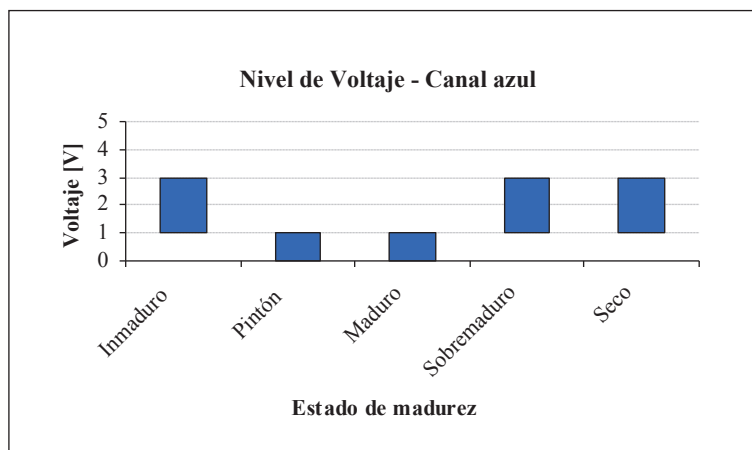
| Estado detectado | Canal       |       |      |
|------------------|-------------|-------|------|
|                  | Rojo        | Verde | Azul |
| Seco             | --          | 0     | 0    |
|                  | 0           | 0     | 1    |
|                  | --          | 0     | 2    |
|                  | --          | 0     | 1    |
|                  | --          | 0     | 1    |
|                  | --          | 0     | 2    |
|                  | --          | 0     | 0    |
| Inmaduro         | 0           | 2     | 1    |
|                  | --          | 0     | 2    |
|                  | --          | 1     | 0    |
|                  | Sobremaduro | 0     | 1    |
|                  |             | 0     | 2    |
|                  |             | 1     | 0    |
|                  | Pintón      | 1     | 1    |
|                  |             | 1     | 1    |
|                  |             | 1     | 2    |
|                  |             | 1     | 0    |
|                  |             | 1     | 1    |
|                  |             | 1     | 2    |
|                  |             | 2     | 0    |
| Maduro           | --          | 1     | 2    |
|                  | Pintón      | 2     | 0    |
|                  |             | 0     | 1    |
|                  |             | 0     | 2    |
|                  | --          | 2     | 1    |
|                  |             | 1     | 0    |
|                  |             | 1     | 1    |
|                  |             | 2     | 2    |
| Sobremaduro      | --          | 2     | 0    |
|                  | --          | 2     | 2    |
|                  | --          | 2     | 1    |
|                  | --          | 2     | 2    |
|                  | --          | 2     | 2    |



**Figura 13.**  
Niveles de voltaje para cada estado de madurez. Canal rojo.



**Figura 14.**  
Niveles de voltaje para cada estado de madurez. Canal verde.



**Figura 15.**  
Niveles de voltaje para cada estado de madurez. Canal azul.

con sus combinaciones fue suficiente para identificar el estado de maduración. Esto genera un sistema más sencillo, en términos prácticos y económicos.

Los posibles errores del sistema se encuentran relacionados con la perturbación de la luz ambiente, los módulos de generación de corriente constante, la amplificación y el filtrado de la señales. Por lo tanto, debe garantizarse que el fruto de café se encuentre ubicado en el foco del sistema de medición del color, de lo contrario la información puede ser interpretada de forma errónea.

Fue necesario un control de iluminación por medios físicos y electrónicos y control sobre los brillos de los frutos, debido a que el sistema es muy sensible a los cambios de luz ambiente, lo que produce inconsistencias en la lectura RGB.

El dispositivo electrónico logra identificar cinco estados de madurez, por medio de un sistema de sensores, un sistema de electrónica análoga y un análisis realizado a la información obtenida, con la que se logra determinar los parámetros de funcionamiento del dispositivo, para posteriores identificaciones. De acuerdo con estos resultados, es posible desarrollar un sistema automático que detecte el color sobre un fruto y determine el estado de madurez, buscando identificar, clasificar y separar los frutos de café por estados de madurez, y garantizar calidad de la materia prima, independiente de la oferta de frutos en el árbol y la técnica de recolección a utilizar.

Es posible generar otros diseños para un sistema que cumpla esta función; la descrita en este artículo demuestra factibilidad en el diseño y potencial para un dispositivo económico y confiable.

Los hallazgos demuestran que es factible generar transformaciones tecnológicas frente al uso de equipos o dispositivos propios desarrollados para la caficultura colombiana a bajo costo y con aplicaciones en finca.

Como proyecciones se podría implementar un sistema experto que pueda realizar análisis de los frutos de café en tiempo real. Además, para lograr esta identificación en línea se requiere un sistema de alimentación de frutos, uno a uno, que se encargue disponer cada fruto en frente del sistema de identificación en forma ordenada. Posterior al análisis individual de cada fruto se podría disponer un sistema de separación neumática cuyo objetivo sería separar los frutos por estados de maduración.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la empresa Aristizábal Arango y Compañía, por el apoyo económico para el desarrollo de este experimento; al ingeniero Julián Andrés Cardona Duque por la colaboración en la realización de los dibujos.

## LITERATURA CITADA

1. GONZÁLEZ, R.C.; WOODS, R.E. Digital image processing. 3 ed. New Jersey (Estados Unidos), Pearson : Prentice Hall, 2008. 954 p.
2. MARÍN L., S.M.; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E. Escala de maduración para los frutos del cafeto (*Coffea arabica* L). Avances Técnicos Cenicafé No. 315:1-8. 2003.
3. PUERTA Q., G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. Revista Cenicafé 51(2):136-150. 2000.
4. SALAZAR G., M.R.; CHAVES C., B.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A. Crecimiento del fruto de café *Coffea arabica* var. Colombia. Revista Cenicafé 45(2):41-50. 1994.

# VALORACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL MEDIANTE INDICADORES DE CALIDAD DEL SUELO, EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN COLOMBIA.

Fernando Farfán-Valencia\*; Édgar Hincapié-Gómez\*

---

## RESUMEN

**FARFÁN V., F.; HINCAPIÉ G., E. Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante indicadores de calidad del suelo, en sistemas de producción de café en Colombia. Cenicafé 62 (1):100-118.2011.**

En los departamentos de Santander, Cauca y Caldas, se valoró la sostenibilidad ambiental, por medio de indicadores de calidad del suelo, en sistemas de producción de café. En Santander se evaluaron café con sombrío de guamo + carbonero, con y sin fertilización, y café con sombrío de guayacán + nogal, con y sin fertilización, y un testigo o barbecho; en Cauca se evaluó una finca de producción de café orgánico y tres de café convencional, y en Caldas un sistema de producción de café orgánico, dos de café convencional, con y sin aplicación de fertilizantes químicos, y un testigo. El Índice General de Sostenibilidad Ambiental (IGSA) estuvo compuesto por siete variables físicas, trece químicas y tres biológicas. La metodología permitió concluir que en Santander los sistemas de producción de café con sombrío de guamo + carbonero, con y sin fertilización, y café con sombrío de guayacán + nogal, con y sin fertilización, se ubican en la categoría de sostenibles, con valores de IGSA de 0,65; 0,59; 0,62 y 0,51, respectivamente, y el testigo se ubicó en la categoría de medianamente sostenible (0,37). En Cauca, los sistemas de producción de café orgánico y los convencionales se clasifican en la categoría de sostenibles, con valores de IGSA de 0,52; 0,52; 0,56 y 0,57, respectivamente. En Caldas, los sistemas de producción de café orgánico, convencionales y el testigo, se clasifican en la categoría de sostenibles, con IGSA de 0,63; 0,60; 0,62 y 0,58, respectivamente.

**Palabras clave:** Índice General de Sostenibilidad Ambiental, cafetal con sombrío, sistema convencional, producción orgánica.

---

## ABSTRACT

In the departments of Santander, Cauca and Caldas, environmental sustainability was assessed by means of indicators of soil quality in coffee production systems. In Santander, coffee with guamo + carbonero shade with and without fertilization, and coffee with guayacán + walnut shade with and without fertilization, and a witness or fallow were evaluated. In Cauca, one organic coffee producer farm and three conventional coffee producer farms were evaluated. In Caldas, one organic coffee production system, two conventional coffee production systems with and without application of chemical fertilizers, and a witness were evaluated. The General Index of Environmental Sustainability (GIES) was made up by seven physical variables, thirteen chemical and three biological. The methodology allowed concluding that in Santander the coffee production systems with guamo + carbonero shade with and without fertilization, and coffee with guayacán + walnut shade with and without fertilization are placed in the category of sustainable, with GIES values of 0.65, 0.59, 0.62 and 0.51, respectively, and the witness was placed in the category of moderately sustainable (0.37). In Cauca, the organic coffee and conventional production systems are classified in the category of sustainable, with GIES values of 0.52, 0.52, 0.56 and 0.57, respectively. In Caldas, the organic and conventional coffee production systems, as well as the witness are classified in the category of sustainable, with GIES values of 0.63, 0.60, 0.62 and 0.58, respectively.

**Keywords:** General Index of Environmental Sustainability, coffee plantation under shade, conventional system, organic production.

---

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

Los principales objetivos en la caficultura son lograr una producción de calidad y estable, poco dependiente de insumos externos, bajos costos de producción y a la vez conservar los recursos naturales, como suelo, agua y la biodiversidad (12). Un sistema diversificado, con un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo, se considera un sistema no degradado y productivo. En otras palabras, un agroecosistema de café rico en biodiversidad, la cual a partir de una serie de sinergismos subsidia la fertilidad edáfica, la fitoprotección y la productividad del sistema, se dice ser sostenible o saludable (19).

El concepto sostenibilidad es de gran relevancia y utilidad, pero debe ser cuantitativo, objetivo y confiable. El primer paso para su valoración es la definición de los objetivos de la medición; el paso siguiente es un diagnóstico del recurso, para evaluar potencialidades y restricciones del recurso disponible, e identificar los procesos predominantes de degradación (11); la evaluación de cambios en los indicadores del suelo y su productividad es el paso siguiente. Si la productividad modifica el indicador de una manera drástica y severa, el paso a seguir es el cambio en el uso de la tierra, su manejo o administración del sistema. Para medir cuantitativamente el uso sostenible del recurso suelo es preciso: (i) Identificar indicadores de sostenibilidad; (ii) Establecer relaciones cuantitativas entre los indicadores; (iii) Definir los límites críticos de los indicadores; (iv) Establecer índices de sostenibilidad; y (v) Desarrollar métodos estandarizados para determinar indicadores de suelo (17). La calidad del suelo ha sido definida como “La capacidad funcional de un tipo de suelo, para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire y sostener el asentamiento y salud humanas con límites ecosistémicos naturales o determinados por su manejo” (10, 30, 35), para un uso

específico, como es el caso de la caficultura colombiana.

Se han desarrollado Índices Aproximados de la Sostenibilidad, como el planteado por Rodríguez y Jiménez (28) el cual clasifica la sostenibilidad de las fincas en alta, media y baja. Amacher y O'Neill (3), desarrollaron un “Índice Aditivo” de calidad del suelo que integra propiedades químicas y físicas del suelo, el cual indica el estado o calidad por aumento o disminución del índice. Karlen y Andrews (16), proponen la construcción de un índice, el cual integra variables físicas, químicas y biológicas del suelo, y permite la evaluación de la calidad. A través del desarrollo y aplicación de indicadores de la calidad del suelo se ha podido valorar el impacto causado por sistemas pastoriles en suelos provenientes de suelos sin cultivar (6); cambios en el uso del suelo provenientes de pastos al ser cultivados con especies arbóreas (14); y valoración de suelos sometidos a diferentes prácticas de cultivo y de manejo (9). Murage *et al.* (21), mediante indicadores de calidad del suelo y percepción de los agricultores, evaluaron suelos productivos y de baja productividad, al relacionar la productividad del suelo con baja compactación, buena humedad, color, presencia de arvenses e invertebrados.

Uno de los desafíos es saber cuándo un agroecosistema es saludable, o en que estado de salud se encuentra después de iniciado el cultivo; aunque se han desarrollado indicadores para alcanzar esta determinación, generalmente éstos consisten en observaciones o mediciones que se realizan a nivel de finca, para saber si el suelo es fértil y conservado, o si las plantas están sanas, vigorosas y productivas. En otras palabras, los indicadores sirven para tomarle el pulso al agroecosistema (2). Hasta el momento, se habla de la importancia de la sostenibilidad ambiental,

en términos de la calidad del suelo y las posibles recomendaciones para lograrlo, pero no se han identificado los indicadores con los cuales se pueda evaluar, con un respaldo estadístico en su construcción. El objetivo del estudio fue plantear una aproximación metodológica para construir indicadores que permitan valorar la calidad del suelo, y a partir de éstos evaluar las sostenibilidad ambiental de sistemas de producción de café.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Zona de estudio.** La investigación se llevó a cabo en fincas cafeteras localizadas en la Mesa de los Santos (Santander), en Piendamó (Cauca) y en Chinchiná (Caldas). En la Tabla 1 se presenta la ubicación geográfica y las características climáticas de la zona de estudio.

**Finca El Roble.** En esta finca se seleccionaron cinco lotes de terreno y tres sistemas de producción, así: dos lotes de terreno sembrados con café y sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) y *Albizia carbonaria* (carbonero); en uno de ellos se aplicó fertilización orgánica como mezcla de pollinazas, gallinazas y pulpa de café, en dosis de 4,5 kg/planta por año, mientras que el otro no se fertilizó. Igualmente, se tenían dos lotes con el sistema café con sombrío de *Tabebuia rosea* (guayacán rosado) y *Cordia alliodora* (nogal cafetero), con y sin fertilización orgánica, y un lote de terreno que permaneció en barbecho<sup>1</sup> por más de 10 años. En todos los sistemas de producción la densidad de siembra del cafetal fue de 4.500 plantas/ha y la del sombrío de 78 plantas/ha. El cultivo se ha manejado con prácticas orgánicas durante un período de 7 años o más.

**Fincas Jardín de Oriente, Vista Hermosa, La Margarita y La Verónica.** La evaluación se hizo en toda la finca. La primera de ellas se ha manejado con prácticas orgánicas por más de 7 años y el sistema de producción del café es bajo sombrío de *I. densiflora* (guamo macheto) y plátano; en las otras tres fincas seleccionadas la producción de café fue convencional, es decir, con empleo de productos de síntesis química y sistemas de producción a libre exposición solar. En todos los casos la densidad de siembra del café fue de 5.000 plantas/ha.

**Estación Central Naranjal.** En la Estación Central Naranjal de Cenicafé, se seleccionaron cuatro lotes de terreno y cuatro sistemas de producción, así: un lote de terreno sembrado con café y con manejo orgánico por más de 7 años; otro lote con café y manejo convencional (aplicación de insumos químicos), un lote con café sin algún tipo de manejo y un lote de terreno que ha permanecido en barbecho por más de 10 años. En todos los casos, la densidad de siembra del cafetal fue de 10.000 plantas/ha y a libre exposición solar.

**Variables evaluadas.** Para construir los indicadores de sostenibilidad se evaluaron las propiedades químicas: pH, CIC, conductividad eléctrica, contenidos de N, materia orgánica, carbono orgánico, relación C:N, contenidos de Ca, Mg, K, P, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Na, S, B; las propiedades físicas: Densidades real y aparente, porosidad total, conductividad hidráulica saturada, humedad a capacidad de campo, estabilidad de agregados, resistencia a la penetración, retención de humedad a 30, 100 y 1.500 MPa, contenidos de arenas, limos y arcillas; y las propiedades biológicas: cobertura de arvenses, dominancia

---

<sup>1</sup> Barbecho: Superficie o terreno que ha dejado de cultivarse por más de 3 años (sinónimo de rastrojo).

**Tabla 1.** Características de clima y ubicación de las áreas seleccionadas

| Depto     | Fincas            | Localización geográfica |         | Altitud (m) | Temp. (°C) | PPT (mm. año <sup>-1</sup> ) | HR (%) | Días con lluvia | Brillo solar (h.año <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-------------------|-------------------------|---------|-------------|------------|------------------------------|--------|-----------------|-------------------------------------|
|           |                   | LN                      | LW      |             |            |                              |        |                 |                                     |
| Santander | El Roble          | 6° 52'                  | 73° 3'  | 1.646       | 19,2       | 1.083                        | 85,6   | 160             | 2.016                               |
|           | Jardín de Oriente | 2° 45'                  | 76° 35' | 1.671       | 19,3       | 2.154                        | 79,9   | 217             | 1.566                               |
| Cauca     | Vista Hermosa     | 2° 45'                  | 76° 35' | 1.671       | 19,3       | 2.154                        | 79,9   | 217             | 1.566                               |
|           | La Margarita      | 2° 45'                  | 76° 35' | 1.671       | 19,3       | 2.154                        | 79,9   | 217             | 1.566                               |
|           | La Verónica       | 2° 45'                  | 76° 35' | 1.671       | 19,3       | 2.154                        | 79,9   | 217             | 1.566                               |
| Caldas    | E. C. Naranjal    | 4° 58'                  | 75° 39' | 1.381       | 21,4       | 3.137                        | 68,0   | 259             | 1.642                               |

Temp.: Temperatura; PPT: Precipitación; HR: Humedad Relativa; E.C.: Estación Central

de arvenses, población de lombrices y de macroinvertebrados.

#### Análisis de la información y construcción del indicador

**Análisis estadístico.** Se realizó análisis descriptivo para las variables evaluadas por localidad, análisis de correlación simple entre las variables, análisis de componentes principales (CP) para selección del conjunto mínimo de variables (CMV) por localidad y total, y análisis de componentes principales con las variables del CMV para selección de coeficientes del índice o ponderación del grupo de variables.

**Estandarización de datos.** Se transformaron los registros originalmente calculados de cada variable a datos en una escala de 0 a 1. La estandarización se aplicó a las variables del CMV. Para este propósito, al valor del indicador o variable y en cada localidad se asignó un “grado de pertenencia entre 0 y 1”, de acuerdo a las fórmulas o funciones de pertenencia <1>, <2> y <3>. Las funciones son el producto de los procedimientos aplicados.

$$\mu = 0,1 + \left( \left( \frac{V_0 - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \right) * 0,9 \right); V_0 < L_{\inf} <1>$$

$$\mu = 1,1 - \left( 0,1 + \left( \left( \frac{V_0 - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \right) * 0,9 \right) \right); V_0 > L_{\sup} <2>$$

$$\mu = (L_{\inf} \leq V_0 \leq L_{\sup}) <3>$$

Donde:

$\mu$ = Grado de pertenencia (valor que toma la variable entre 0 y 1)

$V_0$ = Valor calculado de la variable

$V_{\min}$ = Valor mínimo asignado a la variable

$V_{\max}$ = Valor máximo asignado a la variable

<1> Función a aplicar cuando la variable tiene una relación directa con la calidad del suelo

<2> Función a aplicar cuando la variable tiene una relación inversa con la calidad del suelo

<3> Función a aplicar cuando la variable está dentro de los rangos óptimos o adecuados para el cultivo

**Comparación de los sistemas de producción.**

La comparación se realizó mediante la construcción de Diagramas en Red, los cuales son instrumentos indicadores para la evaluación comparativa, análisis y planificación de agrosistemas o fincas destinadas a la producción y desarrollo sostenible; en resumen, el redegrama, es la representación gráfica del sistema de producción estudiado con los valores transformados de las variables físicas, químicas y biológicas.

**Valoración cuantitativa o de calidad.** Se siguieron los siguientes pasos:

*Índice descriptivo.* Con el CMV, sus valores estandarizados y ponderados por grupos de variables se construyó el Índice General de Sostenibilidad Ambiental (IGSA).

*Aplicación del indicador.* A cada sistema de producción por localidad se le aplicó el

índice para realizar las calificaciones de la sostenibilidad ambiental entre sistemas de producción, por cada sitio de estudio. Con la información obtenida se construyó el “Biograma de la Sostenibilidad Ambiental”.

**Construcción del Biograma de la**

**Sostenibilidad.** La información obtenida de la aplicación del IGSA se dividió en cuartiles para clasificar los sistemas de producción, de acuerdo a su calificación o puntaje total obtenido, en: <0,25 de baja sostenibilidad; 0,25<0,50 medianamente sostenible; 0,50<0,75 sostenible y >0,75 altamente sostenible.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Construcción del indicador**

**Selección inicial de variables.** De acuerdo al criterio de expertos, para el análisis se preseleccionaron las variables físicas, químicas y biológicas presentadas en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Variables físicas, químicas y biológicas preseleccionadas para el análisis.

| Variables físicas            | Variables químicas |                         | Variables biológicas   |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|------------------------|
| Contenido de arena           | Nitrógeno          | Boro                    | Arvenses agresivas     |
| Estabilidad de agregados     | Magnesio           | pH                      | Arvenses nobles        |
| Contenido de arcilla         | Manganeso          | Azufre                  | Materia orgánica       |
| Densidad real                | Fósforo            | Conductividad eléctrica | Población de lombrices |
| Retención humedad (30kPa)    | Calcio             | Cobre                   | Macroinvertebrados     |
| Ret. humedad (100 kPa)       | Cinc               | CIC                     | Cobertura de arvenses  |
| Ret. humedad (1.500 kPa)     | Potasio            | Hierro                  |                        |
| Densidad aparente            | Sodio              | Aluminio                |                        |
| Resistencia a la penetración |                    |                         |                        |
| Humedad del suelo            |                    |                         |                        |
| Conductividad hidráulica     |                    |                         |                        |

### Análisis estadístico

**Pruebas de normalidad.** De acuerdo con la prueba de Kolmogorov-Smirnov al 1,0%, todas las variables seleccionadas, tanto por departamento como en general, tuvieron una distribución normal.

**Análisis de componentes principales (ACP).** El ACP mostró que las 11 variables físicas, en los dos primeros componentes explican el 75,0% de la variabilidad total (Tabla 3).

Para las 16 variables químicas, las tres primeras componentes explican el 80,8% de la variación total (Tabla 4).

Para las seis variables biológicas, las tres primeras componentes explican el 80,3% de la variación total (Tabla 5).

**Selección del Conjunto Mínimo de Variables.** El criterio aplicado para la selección del CMV fue retener sólo aquellas que por su mayor peso hubiesen quedado ubicadas en

**Tabla 3.** Peso de las variables físicas en las dos primeras componentes.

| Variables | Factor 1 | Factor 2 | Componente |
|-----------|----------|----------|------------|
| Are       | 0,05600  | -0,95267 | 2          |
| EstAgr    | -0,17930 | 0,88477  | 2          |
| Arc       | -0,28506 | 0,88377  | 2          |
| DenRea    | -0,55949 | 0,62577  | 2          |
| ReHu30    | 0,87172  | -0,28663 | 1          |
| ReHu100   | 0,73321  | -0,52590 | 1          |
| ReHu1500  | 0,85207  | 0,13788  | 1          |
| DenApa    | -0,74793 | 0,41599  | 1          |
| ResPen    | 0,66060  | -0,26051 | 1          |
| HumSue    | 0,73337  | -0,42758 | 1          |
| ConHid    | -0,77000 | -0,10746 | 1          |

Are: Contenido de arena; EstAgr: Estabilidad de agregados; Arc: Contenido de arcilla; DenRea: Densidad real; ReHu30: Retención humedad (30kPa); ReHu100: Ret. humedad (100 kPa); ReHu1500: Ret. Humedad (1.500 kPa); DenApa: Densidad aparente; ResPen: Resistencia a la penetración; HumSue: Humedad del suelo; ConHid: Conductividad hidráulica

**Tabla 4.** Peso de las variables químicas en las tres primeras componentes.

| Variables | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Componente |
|-----------|----------|----------|----------|------------|
| N         | -0,07369 | 0,93101  | 0,10332  | 2          |
| Mg        | 0,95746  | -0,18402 | 0,06592  | 1          |
| Mn        | 0,95860  | 0,03359  | 0,09708  | 1          |
| P         | 0,95586  | -0,06293 | 0,08934  | 1          |
| Ca        | 0,95117  | -0,19192 | 0,05917  | 1          |
| Zn        | 0,94659  | -0,10183 | 0,05701  | 1          |
| K         | 0,91540  | -0,25442 | 0,06900  | 1          |
| Na        | 0,90626  | -0,10721 | 0,02859  | 1          |
| B         | 0,84072  | 0,07096  | 0,25717  | 1          |
| PH        | 0,83285  | -0,01877 | -0,32865 | 1          |
| S         | 0,78082  | -0,21246 | -0,01245 | 1          |
| Con Ele   | 0,56386  | -0,55934 | 0,16526  | 1          |
| Cu        | 0,49192  | 0,41981  | 0,28437  | 1          |
| CIC       | -0,14567 | 0,89698  | -0,13446 | 2          |
| Fe        | 0,26408  | -0,07961 | 0,77229  | 3          |
| Al        | -0,58631 | 0,07271  | 0,61846  | 3          |

Con Ele: Conductividad eléctrica

**Tabla 5.** Peso de las variables en las tres primeras componentes

| Variables | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 | Componente |
|-----------|----------|----------|----------|------------|
| ArvAgr    | -0,93115 | 0,04680  | 0,18698  | 1          |
| ArvNob    | 0,89639  | -0,12285 | -0,09265 | 1          |
| MO        | 0,57561  | 0,52399  | 0,30893  | 1          |
| PobLom    | 0,10059  | 0,89358  | -0,02564 | 2          |
| MacInv    | -0,31271 | 0,73964  | -0,06297 | 2          |
| CobArv    | -0,14895 | -0,04835 | 0,95026  | 3          |

ArvAgr: Arvenses Agresivas; ArvNob: Arvenses Nobles; MO: Materia Orgánica; PobLom:

Población de Lombrices; MacInv: Macroinvertebrados; Cob Arv: Cobertura de Arvenses

el componente 1; así el CMV de variables físicas estuvo compuesto por la Retención de humedad a 300, 100 y 1.500 MPa, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, la humedad del suelo y la conductividad hidráulica. El CMV químicas lo conformaron el Mg, Mn, P, Ca, Zn, K, Na, B, pH, S, Conductividad eléctrica y Cu. Adicionalmente y aunque su ubicación fue en el componente dos, se incluyó el N, dada su importancia como indicador de la calidad del suelo. Las variables cobertura de las arvenses nobles y agresivas y contenido de materia orgánica, conformaron el CMV biológicas.

#### **Ponderación de los grupos de variables.**

El ACP mostró que las cuatro primeras componentes contribuyen con el 81,1% de la inercia total; por lo tanto, se tomaron las comunialidades hasta estas cuatro componentes. Las comunialidades sirvieron para definir los pesos propios de cada indicador dentro del CMV y, por ende, del grupo de variables (físicas químicas y biológicas), en la construcción del Índice General de Sostenibilidad Ambiental (IGSA). La Tabla 6 muestra las comunialidades hasta la cuarta componente principal y los pesos que se deducen para conformar el IGSA.

**Índice descriptivo.** El Índice General para valorar la Sostenibilidad Ambiental (IGSA)

de sistemas de producción con café en tres localidades de la zona cafetera Colombiana, quedó construido así:

$$IGSA = \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n} \right) * 0,28 \right) + \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \right) * 0,58 \right) + \left( \left( \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} \right) * 0,14 \right)$$

Donde:

**IGSA** = Índice General de Sostenibilidad Ambiental

**$F_i$**  = Variables físicas

**$Q_i$**  = Variables químicas

**$B_i$**  = Variables biológicas

**$n$**  = Número de variables físicas, químicas o biológicas

El IGSA construido para valorar la sostenibilidad ambiental de sistemas de producción de café, es concordante con los índices para valorar sistemas de producción a partir de indicadores de la calidad del suelo que integran variables físicas, químicas y biológicas, planteados por Rodríguez y Jiménez (28), Amacher y O'Neill (3) y Karlen y Andrews (16).

**Tabla 6.** Comunalidades hasta la cuarta componente para los grupos de variables evaluadas.

| Variables  |          | Comunalidad* | Peso de la variable | Coficiente para el grupo de variables |
|------------|----------|--------------|---------------------|---------------------------------------|
| Físicas    | ReHu30   | 0,895461     | 0,04800             | 0,28                                  |
|            | ReHu100  | 0,859848     | 0,04609             |                                       |
|            | ReHu1500 | 0,769085     | 0,04122             |                                       |
|            | DenApa   | 0,829387     | 0,04446             |                                       |
|            | ResPen   | 0,603329     | 0,03234             |                                       |
|            | HumSue   | 0,696425     | 0,03733             |                                       |
|            | ConHid   | 0,510505     | 0,02736             |                                       |
| Químicas   | N        | 0,891865     | 0,04781             | 0,58                                  |
|            | Mg       | 0,971135     | 0,05205             |                                       |
|            | Mn       | 0,937853     | 0,05027             |                                       |
|            | P        | 0,928641     | 0,04978             |                                       |
|            | Ca       | 0,967354     | 0,05185             |                                       |
|            | Zn       | 0,907471     | 0,04864             |                                       |
|            | K        | 0,915127     | 0,04905             |                                       |
|            | Na       | 0,839789     | 0,04501             |                                       |
|            | B        | 0,774888     | 0,04154             |                                       |
|            | pH       | 0,765277     | 0,04102             |                                       |
|            | S        | 0,758989     | 0,04068             |                                       |
|            | ConEle   | 0,647980     | 0,03473             |                                       |
|            | Cu       | 0,565015     | 0,03029             |                                       |
| Biológicas | ArvAgr   | 0,897409     | 0,04810             | 0,14                                  |
|            | ArvNob   | 0,841687     | 0,04512             |                                       |
|            | MO       | 0,881516     | 0,04725             |                                       |

\*La Comunalidad total (Común) estimada fue de 18,656

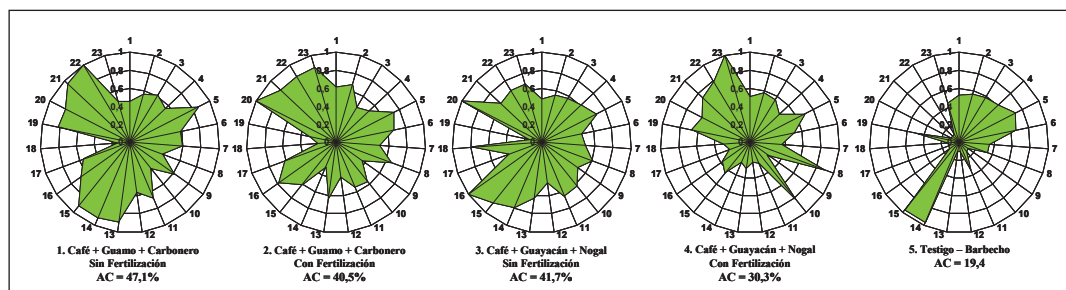
### Comparación retrospectiva de los sistemas de producción con café

**Aplicación de redegramas de la sostenibilidad.** En todos los redegramas la interpretación numérica es la siguiente:

### Departamento de Santander (Finca El Roble).

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de las variables evaluadas en los sistemas de producción y los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides (AC), área verde, del área total de la Figura 1.

| Variables                           |                     |                       |                           |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| Físicas                             | Químicas            | Biológicas            |                           |
| 1. Retención de humedad a 300 MPa   | 8. Nitrógeno (N)    | 15. Sodio (Na)        | 21. Arvenses agresivas    |
| 2. Retención de humedad a 1000 MPa  | 9. Magnesio (Mg)    | 16. Boro (B)          | 22. Arvenses nobles       |
| 3. Retención de humedad a 1.500 MPa | 10. Manganeseo (Mn) | 17. pH                | 23. Materia orgánica (MO) |
| 4. Densidad aparente                | 11. Fósforo (P)     | 18. Azúfre (S)        |                           |
| 5. Resistencia a la penetración     | 12. Calcio (Ca)     | 19. Conduct.Eléctrica |                           |
| 6. Humedad del suelo                | 13. Cinc (Zn)       | 20. Cobre (Cu)        |                           |
| 7. Conductividad hidráulica         | 14. Potasio (K)     |                       |                           |



**Figura 1.** Redegramas con las variables físicas, químicas y biológicas, para cuatro sistemas de producción de café y un testigo (barbecho), en el departamento de Santander.

De los redegramas se pudo inferir que la retención de humedad a 30 kPa estuvo cercana a su límite inferior en los sistemas de producción café + *I. edulis* + *A. carbonaria* sin fertilizar y en los dos sistemas de producción de café con sombríos de *T. rosea* y *C. alliodora*. Solo el sistema café + *I. edulis* + *A. carbonaria* con fertilización presenta la retención de humedad a 1.500 kPa, cercano a su límite inferior. A excepción del primer sistema analizado (café + *I. edulis* + *A. carbonaria* sin fertilizar), la conductividad hidráulica fue muy lenta o cercana a los valores mínimos registrados para la localidad, lo cual se relaciona directamente con la resistencia a la penetración. La condición de no tener valores cercanos a cero en los redegramas denota que las variables físicas no

comprometen la estabilidad o sostenibilidad ambiental de los sistemas estudiados.

En el sistema café + *T. rosea* + *C. alliodora* sin fertilizar, fueron críticos la conductividad eléctrica, el Mg y el Ca, y en el mismo sistema pero con fertilización orgánica, fueron el Mg, Mn, P, Ca, K, pH, los que presentaron contenidos muy superiores a los recomendados para el cultivo del café y en menor proporción Zn, Na, B y S. Las fuentes para la fertilización orgánica de los sistemas que incluyen este tratamiento son una mezcla de 4,5 a 5,0 kg.año<sup>-1</sup> por planta de gallinaza, cascarilla de arroz, estiércol vacuno y pulpa de café, la cual puede estar causando los incrementos en los niveles de nutrientes antes descritos. No fueron evidentes

relaciones inversas o negativas entre las variables químicas analizadas.

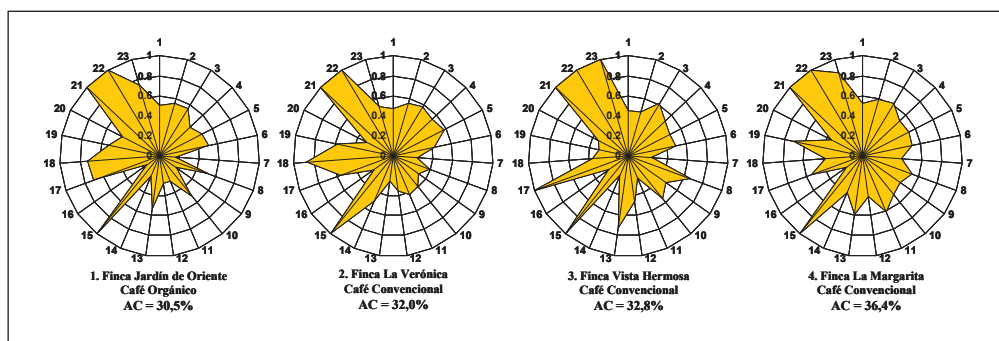
La reducción en el centroe o área sombreada en el redegrama, es indicativo de la baja estabilidad ambiental del testigo (barbecho), la cual fue determinada por el Mg, Mn, Ca, Zn, B, pH, S y Cu; por el contrario, estos elementos se encontraron en niveles inferiores a los contenidos mínimos recomendados para el café. En sistemas de manejo alternativos de suelos y sistemas convencionales, con cultivos autosostenibles como testigos, Valarini *et al.* (33), obtuvieron en este último mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo.

La mayoría de las variables biológicas estuvieron dentro de los rangos óptimos para el café, haciendo una gran contribución a la sostenibilidad ambiental de los agrosistemas, no obstante, se pudo inferir que los contenidos de materia orgánica correlacionaron inversamente con el porcentaje de cobertura de las arvenses agresivas y positivamente con el de las arvenses nobles. Zagal y Córdova (36) determinaron que la materia orgánica del suelo es la más sensible al manejo agronómico, ubicándose como una de las variables biológicas apropiadas para determinar los cambios tempranos en su calidad.

Los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides (AC) en los redegramas, fueron de 47,1% y 40,5% para los sistemas de producción café + *I. edulis* + *A. carbonaria* sin y con fertilización; en los sistemas de producción de café + *T. rosea* + *C. alliodora* sin y con fertilización fueron de 41,7% y 30,3%, y el control o barbecho de 19,4%. De lo anterior puede deducirse que desde el punto de vista ambiental, en esta localidad, en esta unidad de análisis y bajo las condiciones climáticas y épocas de muestreo y solamente para este estudio, es más benéfico cultivar los suelos en sistemas agroforestales con o sin intervención (aplicación de fertilizantes orgánicos), que mantener suelos en barbechos; resultados similares a los obtenidos por Canu y Zucca (6), Gulser (14) y Diack y Stott (9).

**Departamento del Cauca (Fincas orgánica y convencional).** En la Figura 2 se presenta el comportamiento de las variables evaluadas en los sistemas de producción y los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides (AC), área amarilla, del área total de la Figura 2.

Para el sistema de siembra de café bajo sombrío, los valores de conductividad hidráulica estimados indican que es la única variable que se encuentra debajo de los límites mínimos establecidos para ésta, lo cual contribuye



**Figura 2.** Redegrama con las variables físicas, químicas y biológicas, para una finca de producción de café orgánico y tres de café convencional, departamento del Cauca.

significativamente a la estabilidad ambiental de los sistemas de producción. Aoki y Sereno (4) observaron que la velocidad final del proceso de infiltración se comporta como un indicador de calidad de suelo para detectar diferencias significativas en las propiedades del horizonte superficial, en condiciones de bosque nativo y en un agroecosistema manejado con labranza convencional.

Sin embargo, variables como la retención de humedad a 30 y 100 kPa, sugieren que están muy cerca a los límites inferiores de retención de humedad establecidos; variables que en su conjunto están contribuyendo marcadamente a la reducción de la sostenibilidad ambiental de los agrosistemas evaluados. Solamente en la Finca La Margarita (producción de café convencional), a excepción de la conductividad hidráulica, todas las variables físicas del suelo analizadas se encuentran cercanas a los rangos óptimos establecidos para esta localidad. Lister *et al.* (18), Paz y Sánchez (24) y Glover *et al.* (13), observaron como variables diferenciadoras de la calidad del suelo, la densidad aparente, la macroporosidad, la conductividad hidráulica, el contenido de materia orgánica, la capacidad de retención de humedad, la estabilidad de agregados, la biomasa microbiana y la abundancia de lombrices.

Las variables químicas de mayor valor o peso en la sostenibilidad ambiental de los sistemas de producción evaluados en el departamento del Cauca (contribución a la reducción del área sombreada en la Figura 2) fueron Mg, K y B en el sistema de producción de café orgánico (finca Jardín de Oriente), debido a que sus niveles se encontraron por debajo de los límites inferiores establecidos para el cultivo del café. En el sistema de producción de café convencional (finca La Violeta), los niveles de Zn y B, se encontraron por debajo del límite inferior. En la finca Vista Hermosa (producción de

café convencional), fueron determinantes el P, K y B, el primero se encuentra por debajo del rango inferior para el cultivo y los otros dos por encima de estos límites. El B fue la variable química que se presentó por debajo de los niveles mínimos establecidos para café, en la finca La Margarita.

Las variables Mg, P, Ca, K y en todos los sistemas de producción evaluados están por debajo del límite inferior adecuado para el cultivo del café o se encuentran muy cercanos a este valor, lo cual por sus valores estandarizados estimados, entre 0,15 y 0,25, están contribuyendo marcadamente a la sostenibilidad ambiental de los agrosistemas valorados. Las variables biológicas evaluadas no comprometen notoriamente la estabilidad ambiental de los sistemas de producción de café, convencional u orgánicos; siendo notable la contribución de “la dominancia de arvenses nobles” a esta estabilidad; Torres *et al.* (31) indican que la conservación de sistemas de producción, en cuanto a pérdidas de suelo, es debida a las coberturas de arvenses, mas que a cambios en las propiedades químicas y físicas.

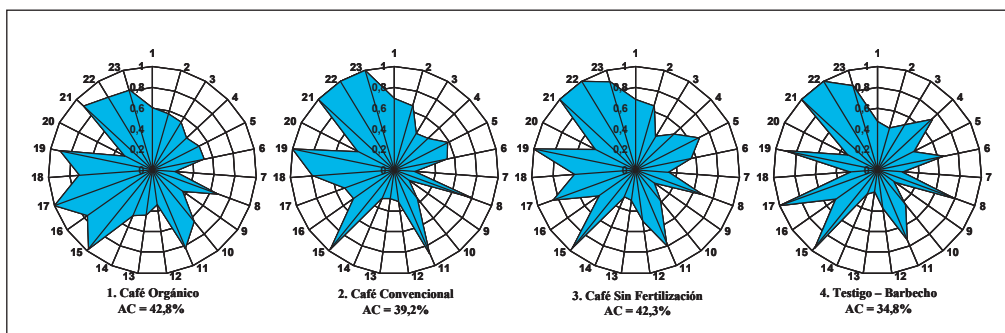
En los redegramas, los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides (AC) fueron de 30,5% para el sistema de producción de café orgánico, y de 32,0%, 32,8% y 36,4% en los sistemas de producción de café convencional, en las fincas La Verónica, Vista Hermosa y La Margarita, respectivamente. Debido a la similitud en las áreas ocupadas por los centroides de los redegramas se puede presumir que los sistemas de producción de café donde se hacen prácticas y aplicaciones de productos de síntesis química, son ambientalmente sostenibles como aquellos sistemas de producción donde no se hace ningún uso de ellos, siempre que estas prácticas sean las técnicamente recomendadas. En sistemas de producción sin el empleo de productos químicos de

síntesis al compararse con sistemas donde se hace uso de ellos, no se han encontrado diferencias en la fertilidad, pH, N, materia orgánica, Ca, Cu, Zn, Mn y Fe; pero sí hay diferencias en las poblaciones de actinomicetos y lombrices, densidad aparente y resistencia a la penetración, a favor de los sistemas de producción orgánico (5, 12, 20).

**Departamento de Caldas (Estación Central Naranjal).** En la Figura 3 se presenta el comportamiento de las variables evaluadas en los sistemas de producción y los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides (AC), área azul, del área total de la Figura.

Los valores calculados de conductividad hidráulica indican que ésta es la única variable, y específicamente para los sistemas de siembra de café orgánico y convencional junto con el barbecho, que se encuentra debajo de los límites mínimos establecidos para esta variable. No obstante, variables como la densidad aparente y la retención de humedad a 1.500 kPa, en los sistemas de producción convencional, sugieren que están muy cerca a los límites inferiores; variables que en su conjunto están contribuyendo marcadamente a la reducción de la sostenibilidad ambiental de los agrosistemas evaluados.

Las variables biológicas evaluadas no comprometen notoriamente la estabilidad ambiental de los sistemas de producción de café estudiados. En estudios realizados por Porras (26), en sistemas de producción orgánica y convencional de café, y su impacto en la calidad de suelos, observó que la biomasa microbiana y carbono orgánico mostraron correlación con suelos bajo bosques, la población de lombrices tuvo correlación con suelos bajo producciones orgánicas, y la densidad aparente y el contenido de K mostraron correlaciones con los suelos bajo producciones convencionales. Alcántara y Ferreira (1) evaluaron la materia orgánica del suelo, densidad aparente, porosidad total y la estabilidad de agregados, obteniendo que estas variables se relacionan directamente con el contenido de la materia orgánica. Han *et al.* (15) observaron que la aplicación de fertilizantes inorgánicos afecta la dinámica del carbón y retrasa la tasas de descomposición de la materia orgánica. George (12) determinó que las variables biológicas se asocian positivamente con suelos cultivados con café orgánico, y que variables como densidad aparente, resistencia a la penetración, contenidos de P, K, Cu, Zn y Mn están asociadas negativamente con bosques, pero que a su vez están positivamente asociadas a cultivos



**Figura 3.** Redesgrama con las variables físicas, químicas y biológicas para cuatro sistemas de producción de café y un testigo (barbecho), en el departamento de Caldas.

convencionales. Resultados similares son reportados por Matoso *et al.* (19) y Carvalho *et al.* (8), en diversos sistemas de producción.

En los redegramas los porcentajes de las áreas ocupadas por los centroides fueron de 42,8% para el sistema de producción de café orgánico, 39,2% para el sistema de producción de café convencional con aplicación de fertilizante químico, de 42,3% para el sistema de producción de café sin aplicación de algún tipo de fertilizante y de 34,8% para el control o barbecho. De estos resultados se puede inferir que los sistemas de producción de café donde se hacen prácticas y aplicaciones de productos de síntesis química, son tan ambientalmente sostenibles como aquellos sistemas de producción donde no se hace ningún uso de ellos, y que desde el punto de vista ambiental, son mas sostenibles los sistemas de producción de café, con aplicación de fertilizantes orgánicos o sin fertilización ninguna, que mantener áreas en barbechos.

### **Índice general de sostenibilidad ambiental (IGSA) en los sistemas de producción**

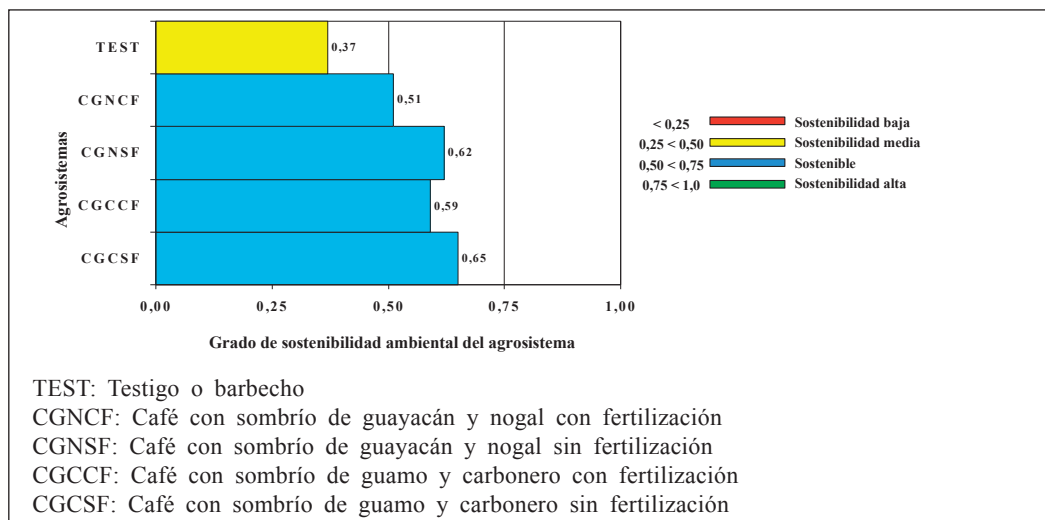
**Departamento de Santander.** Los índices parciales del grupo de variables físicas para los sistemas de producción de café + *I. edulis* + *A. carbonaria*, sin y con fertilización, fueron de 0,17 y 0,16; para los sistemas de producción de café + *T. rosea* + *C. alliodora* el índice fue de 0,15 y en el barbecho o testigo de 0,16. Los índices parciales del grupo de variables químicas para los sistemas de producción de café + *I. edulis* + *A. carbonaria*, sin y con fertilización, fueron de 0,37 y 0,31, para los sistemas de producción de café + *T. rosea* + *C. alliodora* de 0,38 y 0,25, y en el barbecho o testigo de 0,18. Los índices parciales del grupo de variables biológicas para los sistemas de producción de café + *I. edulis* + *A. carbonaria*, sin y con fertilización, fueron de 0,11 y 0,12;

para los sistemas de producción de café + *T. rosea* + *C. alliodora* éstos fueron de 0,09 y 0,12 y en el barbecho o testigo de 0,03.

En la la Figura 4, se presenta la valoración de la sostenibilidad ambiental mediante indicadores de calidad del suelo, en una escala de 0 a 1, de los agrosistemas estudiados.

De acuerdo al índice de sostenibilidad ambiental construido con los conjuntos de variables físicas, química y biológicas del suelo, los sistemas de producción café con sombrío de *I. edulis* + *A. carbonaria*, con y sin fertilización, y café con sombrío de *T. rosea* + *C. alliodora*, con y sin fertilización, se ubican en la categoría de sostenibles, con valores de IGSA de 0,65; 0,59; 0,62 y 0,51, respectivamente, no obstante son calificaciones muy cercanas a las de la categoría de medianamente sostenibles y, por lo tanto, deberán implementarse las prácticas agronómicas necesarias para incrementar el grado de sostenibilidad ambiental de todos los sistemas. El barbecho o testigo se ubica en la categoría de medianamente sostenibles con un valor de IGSA de 0,37.

Desde el punto de vista de su valoración, los sistema agroforestales contribuyen más al mejoramiento y mantenimiento de la calidad de los suelos, y éstos a su vez contribuyen a la sostenibilidad ambiental de los sistemas que se dejan en barbechos; Navas *et al.* (22) estudiaron la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de nutrientes, la retención y velocidad de infiltración del agua, el pH y contenido de carbono, como indicadores de la recuperación de suelos abandonados, después de haber sido plantados con especies forestales, obteniendo que estas variables son indicadores de la recuperación de la calidad de los suelos degradados, y Obando *et al.* (23) mediante un Índice Acumulativo de nueve variables de Calidad



**Figura 4.** Escala de valoración de la sostenibilidad ambiental en los agrosistemas evaluados en el departamento de Santander.

del suelo (IAC), encontraron diferencias significativas de IAC al comparar sistemas agroforestales con cultivos a libre exposición de *Rubus glaucus*.

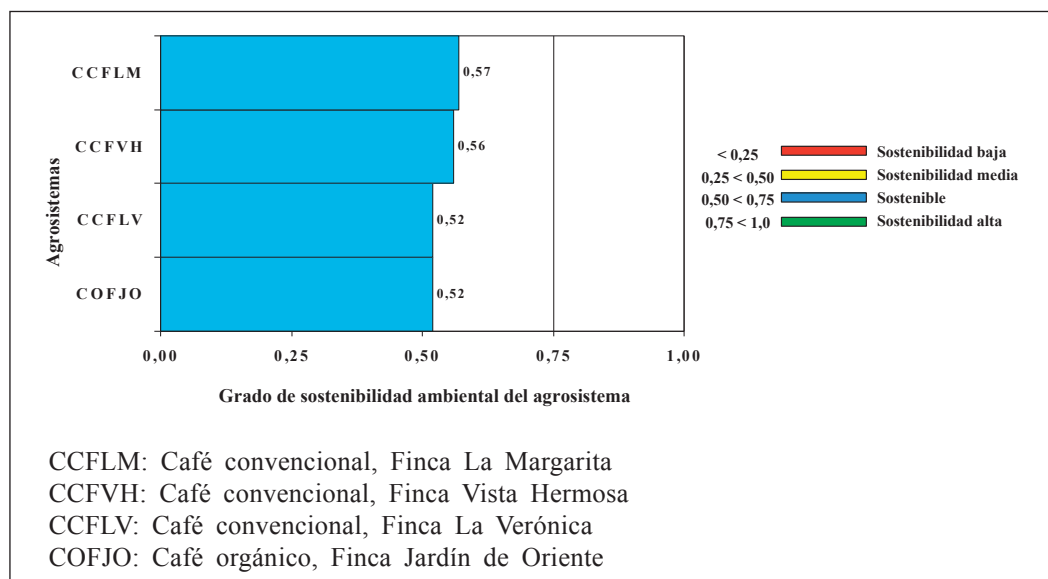
**Departamento del Cauca.** Los índices parciales del grupo de variables físicas para los sistemas de producción de café orgánico y convencional, en las fincas La Violeta y Vista Hermosa, fueron de 0,13, y de 0,15 en el sistema de producción de café convencional en la finca La Margarita. Los índices parciales del grupo de variables químicas para el sistema de producción de café orgánico fueron de 0,27 y para los convencionales en las fincas La Violeta, Vista Hermosa y La Margarita, de 0,27; 0,29 y 0,30, respectivamente. Los índices parciales del grupo de variables biológicas para el sistema de producción de café orgánico fue de 0,13 y para los convencionales en las fincas La Violeta, Vista Hermosa y La Margarita, de 0,12; 0,14 y 0,13, respectivamente.

En la Figura 5 se presenta la valoración de la sostenibilidad ambiental mediante

indicadores de calidad del suelo, en una escala de 0 a 1, de los agrosistemas estudiados.

De acuerdo al índice de sostenibilidad ambiental construido con los conjuntos de variables físicas, químicas y biológicas del suelo, los sistemas de producción de café orgánico (finca Jardín de Oriente) y convencionales (fincas La Violeta, Vista Hermosa y La Margarita) se clasifican en la categoría de sostenibles, con valores de pertenencia de 0,52; 0,52; 0,56 y 0,57, respectivamente. No obstante, éstas son calificaciones muy cercanas a las de la categoría de medianamente sostenibles y, por lo tanto, deberán implementarse las prácticas agronómicas necesarias para incrementar el grado de sostenibilidad ambiental de los sistemas.

En las fincas convencionales y en las orgánicas fue evidente un alto grado de tecnificación caracterizado por la adopción de prácticas recomendadas para el cultivo del café, lo cual permitió inferir que de aplicarse adecuada y oportunamente estas prácticas,



**Figura 5.** Escala de valoración de la sostenibilidad ambiental en los agrosistemas evaluados en el departamento del Cauca.

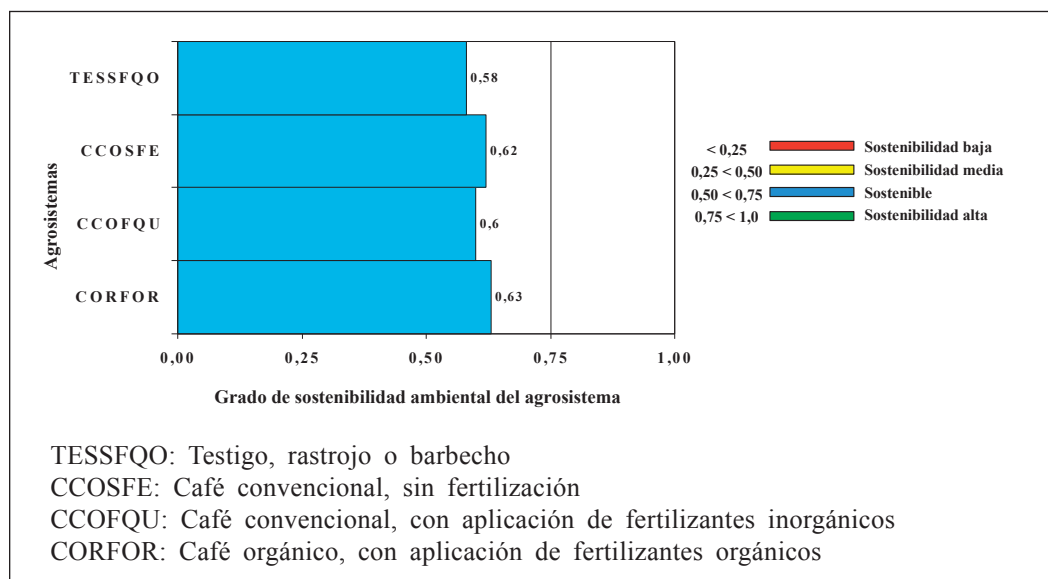
tanto los sistemas de producción convencional como los orgánicos, son ambientalmente sostenibles. No obstante, George (12) indica que las fincas bajo el manejo orgánico pueden sostener mayor producción biológica y mantener las funciones básicas del ecosistema que las fincas bajo el manejo convencional y a pleno sol. Con escalas de valoración de la calidad del suelo, entre 0 y 1, al integrar variables físicas, químicas y biológicas, en un solo índice y relacionándolo con la productividad, Glover *et al.* (13) y Perie y Munson (25), asignaron un valor de 0,92 a los sistemas orgánicos y de 0,78 a los convencionales, siendo los primeros suelos significativamente de calidad superior.

**Departamento de Caldas.** Los índices parciales del grupo de variables físicas para los sistemas de producción de café orgánico, café convencional fertilizado químicamente y el barbecho (testigo), fueron de 0,14, y para

el sistema de producción de café convencional sin fertilización éste fue de 0,15. Los índices parciales del grupo de variables químicas para el sistema de producción de café orgánico fueron de 0,37, para el sistema convencional y fertilizado químicamente de 0,32, para el convencional sin fertilización el valor fue de 0,33, y en el testigo y barbecho de 0,31. Los índices parciales del grupo de variables biológicas para el sistema de producción de café orgánico fueron de 0,12, para los convencionales con y sin fertilización química de 0,14 y 0,13, respectivamente, y para el testigo o barbecho de 0,13.

En la Figura 6 se presenta la valoración de la sostenibilidad ambiental mediante indicadores de calidad del suelo, en una escala de 0 a 1, de los agrosistemas estudiados.

De acuerdo al índice de sostenibilidad ambiental construido con los conjuntos de



**Figura 6.** Escala de valoración de la sostenibilidad ambiental en los agrosistemas evaluados en el departamento de Caldas

variables físicas, químicas y biológicas del suelo, los sistemas de producción de café orgánico y convencionales, con y sin aplicación de fertilizantes químicos, se clasifican en la categoría de sostenibles, con valores de pertenencia de 0,63; 0,60; 0,62, respectivamente, y un testigo o barbecho calificado como sostenible con un IGSA de 0,58. No obstante, son calificaciones muy cercanas a las de la categoría de medianamente sostenibles, por lo que deberán implementarse las prácticas agronómicas necesarias para incrementar el grado de sostenibilidad ambiental de los sistemas.

Se puede concluir que en sistemas de café tecnificados, de aplicarse las prácticas frecuente y oportunamente, los sistemas de producción convencional son tan sostenibles como los orgánicos. Resultados contrastantes fueron obtenidos por Serrano *et al.* (29), en fincas bananeras convencionales y orgánicas,

por Twist y Coltman (32) en cultivos de café similares, por Glover *et al.* (13) en cultivos de *Malus domestica* (albaricoque), este último con Índice de Calidad del Suelo (SQ) de 0,92 para orgánicos. En cultivos de manzana orgánicos, convencionales e integrados, Reganold *et al.* (27) obtuvieron indicadores generales de calidad del suelo de 0,88; 0,78 y 0,92 respectivamente; y Cantú *et al.* (7), en suelos con ganadería intensiva, obtuvieron un Índice General de Calidad del Suelo de 0,47.

Zobeck *et al.* (37), en cultivos de maíz en rotación con *Hordeum distichon* (Cebada), encontraron valores para los conjuntos de variables físicas de 0,54, para las variables químicas de 0,63, y para las variables biológicas de 0,47, y un Índice de Calidad del Suelo de 0,65. En un sistema maíz en rotación con soya (*Glycine max*), Diack y Stott (9), obtuvieron índices parciales para los grupos

de variables físicas, químicas y biológicas de 0,31; 0,14 y 0,041 respectivamente y un Índice General Integrado de calidad del suelo de 0,49. Wander *et al.* (35), en cultivos de maíz y soya, reportan subindicadores físicos, químicos y biológicos de calidad del suelo (ISQI) de 0,9; 0,47 y 0,20, respectivamente, y un índice general promedio de calidad del suelo de 0,33. Velázquez *et al.* (34) evaluaron la calidad del suelo de diversos sistemas de producción, incluyendo café, a través de un índice general de calidad del suelo (GISQ), con valores de 1,00; 0,80; 0,78 y 0,77 para plantaciones, los barbechos, los pastos y el café, respectivamente. Indican que los GISQ permiten la evaluación de la calidad del suelo y facilitan la identificación de áreas problemáticas; además, facilitan la supervisión del cambio en el tiempo y pueden direccionar la puesta en práctica de las tecnologías de restauración del suelo.

Puede concluirse que:

- Ésta es una aproximación metodológica para construir indicadores que sirvan para valorar la calidad del suelo en sistemas de producción de café.
- Mediante un índice general se propuso una metodología para valorar la sostenibilidad ambiental de sistemas de producción de café, a partir de indicadores de calidad del suelo.
- Para los estudios de calidad de suelos se seleccionaron las variables, que de acuerdo al Análisis de Componentes Principales (ACP), fueron más sensibles al cambio de uso del suelo. Las variables físicas fueron retención de humedad a 30, 100 y 1.500 kPa, densidad aparente, resistencia a la penetración, humedad del suelo y conductividad hidráulica; las variables químicas fueron N, Mg, Mn, P, Ca, Zn,

K, Na, B, pH, S, conductividad eléctrica, y Cu; y las biológicas fueron dominancia de arvenses agresivas y nobles y materia orgánica del suelo.

- La sostenibilidad ambiental valorada por medio del Índice General de Sostenibilidad Ambiental (IGSA) permitió identificar por departamento:

En Santander, los sistemas de producción de café con sombrío de guamo + carbonero con y sin fertilización, y café con sombrío de guayacan + nogal con y sin fertilización se ubican en la categoría de sostenibles, con valores de IGSA de 0,65; 0,59; 0,62 y 0,51 respectivamente; y el barbecho o testigo se ubica en la categoría de medianamente sostenibles con un valor de IGSA de 0,37.

En Cauca, el sistema de producción de café orgánico (finca Jardín de Oriente) y los convencionales (fincas La Violeta, Vista Hermosa y La Margarita) se clasifican en la categoría de sostenibles, con valores de pertenencia de 0,52; 0,52; 0,56 y 0,57, respectivamente.

En Caldas, los sistemas de producción de café orgánico y convencionales (con y sin aplicación de fertilizantes químicos), se clasifican en la categoría de sostenibles, con valores de pertenencia de 0,63; 0,60; 0,62, respectivamente, y un testigo o barbecho calificado también como sostenible con un IGSA de 0,58.

## LITERATURA CITADA

1. ALCANTARA, E. N.; FERREIRA, M. M. 2001. Efeitos de metodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade fisica do solo. Revista Brasileira de Ciencia do Solo. Vicos, Brazil 24(4):711-721.

2. ALTIERI M. A.; NICHOLLS C. I. 2007. Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: Teoría, estrategias y evaluación. *Revista Ecosistemas* 1:1-10.
3. AMACHER., M. C.; O'NEILL., K. P. 2003. Soil vital signs: a New index for assessing forest soil health. p.37. [Poster]. USDA Forest Health Monitoring Program.
4. AOKI., A. M.; SERENO., R. 2006. Evaluación de la infiltración como indicador de calidad de suelo mediante un microsimulador de lluvias. *Revista Agriscientia* 23(1):23-31.
5. AROMOLO., R.; FRANCAVIGLIA., R. 2006. Effects on soil quality of mineral and organic fertilization. *Geophysical Research Abstracts* 8:1.
6. CANU., A.; ZUCCA., C. 2006. Change in soil properties as indicators of soil quality in an agropastoral area of Sardinia. *Geophysical Research Abstracts* 8:1-2.
7. CANTÚ., M. P.; BECKER., A.; BEDANO., J. C.; SCHIAVO., H. F. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 25(2):173-178.
8. CARVALHO., R.; GOEDERT., W. J.; ARMANDO., M. S. 2004. Physical features of soil quality under an agroforestry system. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Brasília)* 39(11):1153-1155.
9. DIACK., M.; STOTT., D. E. Development of a Soil Quality Index for the chalmers silty clay loam from the Midwest USA. In: STOTT., D. E. STEINHARDT [Eds]. *The global farm. Selected paper from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting Held, May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*, 2001. p. 550-555.
10. DORAN, J. W.; ZEISS M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15:3-11.
11. GALLOPIN., G. C. FODEPAL, SANTIAGO DE CHILE (CHILE). 2006. Indicadores de desarrollo sostenible: Aspectos conceptuales y metodológicos. *Santiago de Chile (Chile)*, 36 p.
12. GEORGE, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. *Turrialba (Costa Rica)*, CATIE, 118 p.
13. GLOVER., J. D.; REGANOLD., J. P.; ANDREWS., P. K. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington state. *Source Agriculture, Ecosystems and Environment* 80(1-2):29-43.
14. GULSER., C. A. 2004. Comparison of some physical and chemical soil quality indicators influenced by different crops species. *Pakistan Journal of Biological Sciences (Turkey)* 7(6):905-911.
15. HAN., X.; WANG., S.; VENEMAN P., L. M.; XING., B. 2006. Change of Organic Carbon Content and Its Fractions in Black Soil under Long-Term Application of Chemical Fertilizers and Recycled Organic Manure. *Soil Science and Plant Analysis* 37:1127-1137.
16. KARLEN., D. L.; ANDREWS., S. S. 2000. The soil quality concept: a tool for evaluating sustainability. *Source DIAS Report, Plant Production. Danmarks Jordbrugs Forskning, Tjele, Denmark* 38:15-26.
17. LAL., R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Washington, D.C. (USA). Ohio State University; U.S. Agency for International Development; Soil Management Support Services. *Technical Monograph n° 21*. 78 p. (Serie: SMSS, 1994).
18. LISTER., T. W.; BURGER., J. A.; PATTERSON., S. C. 2004. Role of Vegetation in Mitigating Soil Quality Impacted by Forest Harvesting. *Soil Science Society of America Journal* 68:263-271.
19. MATOSO C., M.; SILVA S., R. H.; DE FREITAS., G. B.; PRIETO M., H. E.; JARAMILLO B., C.; SILVANALAGESG., S. 2007. Análise comparativa das características da serrapilheira e Do solo em cafezais (*coffea arabica* L.) Cultivados em sistema Agroflorestal e em monocultura, na zona da mata mg1. *Revista Árvore, (Viçosa-MG)* 31(5):805-812.
20. MOTTA, A., C. V.; REEVES, D. W.; TOUCHTON, J. T. 2002. Tillage intensity effects on chemical indicators of soil quality in two coastal plain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33(5):913-932.
21. MURAGE., E. W.; KARANJA., N. K.; SMITHSON., P. C.; WOOMER., P. L. 2000. Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. *Source Agriculture, Ecosystems and Environment* 79 (1):1-8. 33.

22. NAVAS., A.; MACHIN., J.; BEGUERIA., S.; LÓPEZ V., M.; GASPAS., L. 2008. Soil properties and physiographic factors controlling the natural vegetation re-growth in a disturbed catchment of the Central Spanish Pyrenees. *Agroforestry Systems* 72:173-185.
23. OBANDO M., F. H.; MONTES, J. M.; ZULUAGA A., M. A. 2004. Desarrollo de indicadores de calidad inherente y dinámica de Andisoles en el departamento de Caldas. En: TALLER Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo, 1. Palmira (Colombia), Octubre 20-22, Palmira (Colombia), CIAT, 2004. 16 p.
24. PAZ., I. E.; SÁNCHEZ DE P., M. 2007. Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán. *Revista Unicauca*, Facultad de Ciencias Agropecuarias 5(2):39-43.
25. PERIE., C.; MUNSON., A. D. 2000. Ten-Year Responses of Soil Quality and Conifer Growth to Silvicultural Treatments. *Soil Science Society of America Journal* 64:1815-1826.
26. PORRAS V., C. M. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba-Jiménez, Costa Rica. Turrialba (Costa Rica), CATIE, 150 p.
27. REGANOLD., J. P.; GLOVER., J. D.; ANDREWS., P. K.; HINMAN., H. H. 2001. Sustainability of three apple production systems. *Nature* 410(19):926-930.
28. RODRÍGUEZ B., F.; JIMÉNEZ C., R. 2007. La aplicación de indicadores en el recurso suelo para evaluar la sostenibilidad de la microrregión Platanar-La Vieja, cuenca del río San Carlos, Costa Rica. *Tecnología en Marcha* 20(3):12-34.
29. SERRANO., E.; SANDOVAL., J.; POCASANGRE., L.; ROSALES., K.; DELGADO., E. The importance of physical-chemical indicators in the soil quality for the Sustainable production of banana in Costa Rica. XVII Reuniao Internacional da Associacao a Cooperacao nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 15 a 20 de outubro de 2006. Joinville, Santa Catarina (Brasil). p. 207-221 (Resúmenes).
30. SOJKA., R. E.; UPCHURCH., D. R. 1999. Reservations Regarding the Soil Quality Concept. *Soil Science Society of America Journal* 63(5):1039-1054.
31. TORRES., D.; FLORENTINO., A.; LÓPEZ., M. 2006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un Ultisol bajo diferentes prácticas de manejo Conservacionista en Guárico, Venezuela, *Bioagro* 18(2):83-91.
32. TWIST, T.K.; COLTMAN, W.F. 1966. Organic matter and healthy coffee with reference to coffee berry disease and quality. *Kenya Coffee (Kenya)* 31(366):261-267.
33. VALARINI., P. J.; SHIRAISHI F, R. T.; TOKESHI., H.; MORSOLETO., R. V. 2006. Desenvolvimento de método e indicadores de avaliação do impacto ambiental das práticas de manejo em sistemas de produção intensivos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 24 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 36).
34. VELASQUEZ., E.; LAVELLE., P.; ANDRADE., M. 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, UK 39(12):3066-3080.
35. WANDER, M. M.; WALTER, G. L.; NISSEN, T. M.; BOLLERO, G. A.; ANDREWS, S. S.; DEBORAH A. CAVANAUGH-GRANT, D. A. 2002. Soil Quality: Science and Process. *Agronomy Journal* 94(1):23-32.
36. ZAGAL., E.; CÓRDOVA., C. 2005. Indicadores de calidad de la materia orgánica del suelo en un andisol cultivado. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(1):186-197..
37. ZOBECK, T. M.; HALVORSON, A. D.; WIENHOLD, B.; ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; KARLEN, D. L. 2008. Comparison of two soil quality indexes to evaluate cropping systems in northern Colorado. *Journal of soil and water conservation* 63(5):329-338.

**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.  
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico  
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.  
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista  
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga 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  
Samuel Antonio Castañeda  
Jury Tatiana Trejos R., Aprendiz  
Leidy Tatiana Gómez D., Aprendiz  
Beatriz Eugenia Toro M., Aprendiz

**Fisiología vegetal**

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Néstor Miguel Riaño H., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Luis Fernando Gómez G. Ing. Agrónomo Ph.D.  
Aristóteles Ortiz, Químico\*\*  
Jenny Lorena Aguirre M., Ing. de Alimentos  
Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo  
María José Chica M., Ing. de Alimentos Esp.  
Luz Fanny Echeverry G., Química  
Marta Bibiana Escobar P., Tecnólogo Químico  
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo  
Mauricio Serna O., Ing. Electrónico  
Claudia Marcela Mora Agudelo  
Mario Franco A.  
Braian Alejandro López O.  
Angela María Castaño 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.  
Claudia Patricia Valencia V.  
José Robin 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\*  
Beatriz Mejía M., Tecnólogo Químico Esp.  
Arturo Gómez V.  
Diego Alejandro Arcila V., Tec. en Adm. Agropecuaria  
Andrés Felipe Castro Q., Ing Agrónomo  
Carlos Alberto Gómez A., Ing Agrónomo  
Janneth Escudero A., Microbiólogo  
Miguel Hernando Perenguez C., Químico  
José Guillermo Hernández M.

**Fitotecnia**

Victor Hugo Ramírez B., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Argemiro Miguel Moreno B., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Carlos Augusto Ramírez C., Tec. Técnicas Forestales  
Gustavo Bedoya Correa., Agrónomo  
Leidy Tatiana Bermúdez F., Ing. Agrónomo  
Sebastián González A.  
Cristian Camilo Barrios, Téc. Análisis y Des. de la Info.

**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.  
Huver Elías Posada S., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.  
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.\*  
Jefersson Medina O., Biólogo  
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero  
Gladys Romero G., Bióloga M.Sc.  
Luisa Mayens Vásquez R., Ing. Agrónomo  
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero  
Liliana Jimena Bustamante G., Ing. Agrónomo  
Elsa Viviana Marín M., Ing. Agrónomo  
Luis Enrique Chanchí A.  
Hernán Díaz C.  
Cruz Elena Díaz M.  
Manuel Antonio Llano S.  
Jairo Nieto L.  
Omar Villarreal  
Carolina González Marulanda, Téc. Asistencia Administrativa  
Ligia Belén Suescun P., Ing. de Prod. Biotecnológica  
Jairo Ocampo J., Tec. en Electrónica  
Mónica Esperanza Jiménez M.  
Sandra Liliana Largo V.  
Sandra Patricia Velarde M.  
Nelson Duque Rincón, Téc. en Sis. de Información Geográfica

## Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.  
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.  
Clemencia Villegas G., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.  
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc\*.  
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo\*  
Julían David Hincapié B., Ing. Agrónomo  
Mauricio Jiménez Q., Tec. Admon. Agropecuaria  
Eliana del Pilar Macea C., Biólogo  
Lucio Navarro E., Biólogo\*  
Juan Carlos Ortiz F.  
Juan Paulo Pimentel S., Tec. Adm. Empresas Agropecuarias  
Gloria Patricia Naranjo E.  
Carlos Alberto Quintero A.,  
Diana Soraya Rodríguez A., Téc. en Producción de Café  
Claudia Bibiana Tabares B.  
Diana Marcela Giraldo V.  
Jairo Hernán Henao D.  
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo  
Faber de Los Ríos P.

## Agroclimatología

Andrés Javier Peña Q., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Julían Andrés Valencia A., Ing. Agronómica\*\*  
Wilmar A. Rendón G., Tec. en Sistemas Informáticos  
Myriam Giraldo M.  
Luis Gonzaga Henao R.  
Fabián Sánchez L.  
Luis Fernando Torres Q.  
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola  
Jorge Hernán Marulanda E., Tec. en Electrónica  
Orlando Salazar G.  
Paola Andrea Pérez M., Tecnólogo ADSI  
Edna Paola Pérez R.

## Fitopatología

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo Ph.D.  
Marco Aurelio Cristancho A., Microbiólogo Ph.D.  
Bertha Lucía Castro C., Ing. Agrónomo M.Sc.\*\*  
Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo M.Sc.  
Carlos Alberto Zuluaga E., Tec. en Mantenimiento en Comp. y Redes  
Carlos Arturo González V.  
Jorge Dickson Ocampo M.  
Claudia Echeverri R., Biólogo  
Jaroliver Cardona G.  
Andrés Durán J., Ing. de Producción Biotecnológica

## Sostenibilidad

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos, M.Sc.  
Gloria Esperanza Aristizábal V., Lic. Bióloga y Química, M.Sc.  
María Cristina Chaparro C., Química  
Angélica María Campuzano C., Ing. de Alimentos Esp.  
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial M.Sc.  
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., Tecnólogo en Electrónica

José Farid López D., Tec. en Administración Agropecuaria  
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola  
Mauricio García N., Ing. Electrónico  
Javier Arias H.  
Mario Espinosa G.  
Javier Velásquez H.

## EXPERIMENTACIÓN

---

Carlos Gonzalo Mejía M., Admr. de Empresas Agropecuarias\*\*  
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo\*\*  
María Lucero Arias V., Adm. de Empresas Financieras

### Estación Central Naranjal

José Raúl Rendón S., 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 Alzate O.  
Vidal de Jesús Largo T.

### Estación Experimental Libano

Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo

### Estación Experimental Paraguaito

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo  
Daniel Antonio Franco C., Tec. en Gestión Agropecuaria

### Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

### Estación Experimental San Antonio

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.  
Yudy Andrea Montes B., Licenciada en Lenguas Modernas  
Diana Shirley Uribe P., Aprendiz

### Economía

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

### Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónomo, M.Sc.  
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual  
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.  
María del Rosario Rodríguez L., Diseñadora Visual.  
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual  
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero

## UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

---

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

### 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  
Jairo Coy M., Administrador de Empresas  
Gabriel Hernando Ortiz C., Tec. en Gestión Bancaria y  
Financiera  
Uriel López P.  
José Asdrúbal Muñoz  
Rogelio Rodríguez G.  
Luis Alfonso Sánchez H.  
Javier Vanegas V.  
Eduardo Villegas A.  
Fredy Hernán Osorio C.  
Juan David Cardona M., Aprendiz  
Daniela Patiño O., Aprendiz

### Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

### Gestión del Talento Humano

Erica Galvis R., Trabajadora Social M.Sc.  
Luz Yaneth Guarín C., Tec. Administración de Negocios\*\*

Germán Uriel G., Administrador de Empresas\*\*  
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional  
Esp\*\*  
Leydi Johana Pavi R., Aprendiz

### Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L. Ing. Industrial M.Sc.  
Damaris Márquez G., Administradora Financiera\*\*  
Daniel Eduardo Ramírez L., Administrador de Empresas\*\*

### Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Carlos Arturo González V., 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.  
Diego Giraldo  
Kelly Johana Correa A., Prof. en Admon- de Mercadeo  
Lina María Giraldo, Téc. Asistente Administrativo  
Jessica Viviana Romero G., Aprendiz

### Tecnología de la Información y

#### Comunicaciones

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

---

\*Comisión de Estudios

\*\* Adelantando estudios en el país

# Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

## TEXTOS

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

## TABLAS Y FIGURAS

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

## ECUACIONES

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

## SISTEMA DE UNIDADES

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

- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:  
 \_ El rendimiento en peso seco fue de 5 g.día<sup>-1</sup>, y no 5 g de peso seco.día<sup>-1</sup>  
 \_ Se aplicaron 25 g.ha<sup>-1</sup> del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha  
 \_ Cada planta recibió 20 g.ha<sup>-1</sup> de agua, y no 20 g H<sub>2</sub>O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/materia)
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones

## BIBLIOGRAFÍA

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

### Libros, folletos y monografías

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

### Partes o capítulo de un libro

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

### Ponencias

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

### Trabajos de grado

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

### Congresos, Seminarios, Simposios

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

### Artículos de revistas

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

### Separatas y reimpresos

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

### Boletines y Publicaciones en serie

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

### Normas

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

### Documentos electrónicos

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

## ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

### Título – Máximo 16 palabras

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

### Resumen – Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras
- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título

### Abstract - Máximo 250 palabras

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

### Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

### Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo. 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: Carmenza Bacca Ramírez  
Fotografías: Archivo Cenicafé  
Impresión: Editorial Blanecolor S.A.S.

1.200 ejemplares



*Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938*

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