

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 67 Número 1

Enero - Junio 2016



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Mauricio Cárdenas Santamaría

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Aurelio Iragorri Valencia

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

Cecilia Álvarez Correa

Director del Departamento Nacional de Planeación

Simón Gaviria Muñoz

COMITÉ NACIONAL

Período 1º enero/2015- diciembre 31/2018

José Fernando Montoya Ortega

José Alirio Barreto Buitrago

Eugenio Vélez Uribe

Danilo Reinaldo Vivas Ramos

Cliford Enrique Bonilla Smith

Javier Bohórquez Bohórquez

Octavio Oliveros Collazos

Edilberto Rafael Álvarez Pineda

Leonardo Javier Pabón Sánchez

Alfredo Yáñez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

Alejandro Corrales Escobar

Jorge Julián Santos Orduña

Luis Javier Trujillo Buitrago

Camilo Restrepo Osorio

Gerente General

ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

Gerente Administrativo

CARLOS ALBERTO GONZÁLEZ ARBOLEDA

Gerente Financiero

JUAN CAMILO BECERRA BOTERO

Gerente Comercial

CARLOS FELIPE ROBAYO DUQUE

Gerente Técnico

HERNANDO DUQUE ORREGO

Director Investigación Científica y Tecnológica

ÁLVARO LEÓN GAITAN BUSTAMANTE

Uso del material de esta revista:

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

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

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

Editada en mayo 2016
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales
E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com
www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 67

ENERO - JUNIO 2016

No. 1

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CALIDAD FÍSICA DEL CAFÉ DE VARIAS REGIONES DE COLOMBIA SEGÚN ALTITUD, SUELOS Y BUENAS PRÁCTICAS DE BENEFICIO. Gloria Inés Puerta-Quintero | 7 |
| PHYSICAL QUALITY OF COFFEE FROM VARIOUS REGIONS OF COLOMBIA ACCORDING TO ALTITUDE, SOILS AND GOOD PROCESSING PRACTICES | 7 |
| COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE <i>Coffea arabica</i> SOMETIDAS A DÉFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO. Diana María Molina Vinasco; Víctor Hugo Ramírez Builes; Hernando Alfonso Cortina Guerrero | 41 |
| PERFORMANCE OF <i>Coffea arabica</i> ACCESSIONS UNDER SOIL HUMIDITY DEFICIT | 41 |
| DENSIDAD DE SIEMBRA DEL CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® EN SISTEMAS AGROFORESTALES, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER-COLOMBIA. Fernando Farfán Valencia; Pedro María Sánchez Arciniegas | 55 |
| PLANTING DENSITY OF THE CASTILLO® COFFEE VARIETY IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER-COLOMBIA | 55 |
| EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AGUA OZONIZADA COMO TÉCNICA DE CONSERVACIÓN DEL CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO. Jenny Paola Pabón Usaquén; Aída Esther Peñuela Martínez | 63 |
| EFFECT OF OZONATED WATER APPLICATION AS A CONSERVATION TECHNIQUE FOR WET PARCHMENT COFFEE | 63 |
| HEMIPTERA: COCCOIDEA DE LAS RAÍCES DEL CAFÉ Y SUS PARASITOIDES EN EL VALLE DEL CAUCA. Zulma Nancy Gil Palacio; Pablo Benavides Machado; Luis Miguel Constantino Chuaire | 73 |
| HEMIPTERA: COCCOIDEA ON COFFEE ROOTS AND THEIR PARASITOIDS IN THE DEPARTMENT OF VALLE DEL CAUCA | 73 |
| RESPUESTA DEL CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) A LA FERTILIZACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA ZOCA. Luis Fernando Salazar Gutiérrez; Siavosh Sadeghian Khalajabadi | 81 |
| RESPONSE OF COFFEE (<i>Coffea arabica</i> L.) TO FERTILIZATION BEFORE AND AFTER STUMPING | 81 |

COMITÉ EDITORIAL

| | |
|------------------------|--|
| Álvaro L. Gaitán B. | Ph.D. Microbiólogo. Dirección, Cenicafé |
| Pablo Benavides M. | Ph.D. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé |
| Juan Rodrigo Sanz U. | Ph.D. Ing. Mecánico. Ingeniería Agrícola, Cenicafé |
| Carmenza E. Góngora B. | Ph.D. Microbióloga. Entomología, Cenicafé |
| José Ricardo Acuña S. | Ph.D. Microbiólogo. Mejoramiento Genético, Cenicafé |
| Siavosh Sadeghian K. | Ph.D. Ing. Agrónomo. Suelos, Cenicafé |
| Sandra Milena Marín L. | M.Sc. Ing. Agrónomo. Divulgación y Transferencia, Cenicafé |

EDITORES ESPECIALIZADOS DE LA REVISTA 67 (1)

| | |
|----------------------|---------------------|
| Ricardo Acuña S. | Ph.D. Cenicafé, FNC |
| Juan Rodrigo Sanz U. | Ph.D. Cenicafé, FNC |
| Carmenza Góngora B. | Ph.D. Cenicafé, FNC |

CALIDAD FÍSICA DEL CAFÉ DE VARIAS REGIONES DE COLOMBIA SEGÚN ALTITUD, SUELOS Y BUENAS PRÁCTICAS DE BENEFICIO

Gloria Inés Puerta-Quintero*

PUERTA Q., G.I. Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio. Revista Cenicafé 67 (1): 7-40. 2016

Se midió la calidad física de 162 muestras de café con trazabilidad registrada de origen y procesos de la finca y con aplicación *in situ* de Buenas Prácticas Agrícolas en el beneficio - BPA y se relacionó con la calidad del café en taza. El promedio de la humedad del café pergamino fue de 11,1%, aunque 40% de las muestras presentaron desviaciones por sobresecado o por incompleto secado, que se asociaron a granos decolorados y tazas con defectos a reposo y terroso. Las muestras de café de mejor calidad presentaron en promedio 92,4 a 93,5 de factor de rendimiento en trilla, 75,3% a 74,4% de almendra sana en compra y 17,4% de merma. Los menores rendimientos en trilla se obtuvieron en el café cultivado por encima de los 1.600 m y con procesos BPA, fermentación y secado al sol. Los defectos del grano más frecuentes en todas las regiones fueron brocado, decolorado y vinagre y sus mayores valores se encontraron en zonas por debajo de 1.300 m. La genética de la variedad de café tuvo más influencia en el tamaño del grano que la altitud y el origen geográfico. Se demostró que la calidad del café en taza está influenciada por la humedad y el tipo y cantidad de defectos físicos del grano. La calidad del café se deteriora a pesar de que los granos defectuosos se eliminan antes de tostarlo, por lo tanto, es necesario realizar buenas prácticas de clasificación desde la finca en las etapas de procesamiento, para mejorar la consistencia en la calidad del café.

Palabras clave: Defectos, trazabilidad, fermentación, secado, rendimiento en trilla.

PHYSICAL QUALITY OF COFFEE FROM VARIOUS REGIONS OF COLOMBIA ACCORDING TO ALTITUDE, SOILS AND GOOD PROCESSING PRACTICES

The physical quality of 162 samples of coffee with registered origin traceability and farm processes and with *in situ* use of Good Agricultural Practices—GAP was measured and related to the quality of coffee cup. The average moisture of parchment coffee was 11.1%, although 40% of the samples showed deviations due to over-drying or incomplete drying associated with discolored bean and rest and earthy cups. The best quality samples had on average 92.4 to 93.5 of threshing factor performance, 75.3% to 74.4% of healthy beans purchase and 17.4% loss. The lowest threshing yields were obtained in coffee grown above 1,600 m under GAP, fermentation and sun drying processes. The most common bean flaws in all the regions were coffee berry borer, discoloring and vinegars, and the highest values were found in areas below 1,300 m. The genetics of the coffee variety had more influence on the bean size than altitude and geographical origin. Moisture and the type and amount of physical flaws of bean influenced the coffee cup quality. Coffee quality deteriorates even when faulty beans are removed before roasting, therefore, it is necessary to carry out suitable classification practices from the farm in the processing stages to improve consistency in the quality of coffee.

Keywords: Flaws, traceability, fermentation, drying, threshing performance.

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

Las especificaciones de calidad, suavidad, sabores y aromas dulces y acidez alta y agradable del café de Colombia han sido reconocidas mundialmente en el mercado (16, 17, 18, 20). Los granos de café de Colombia son cultivados y procesados por 563 mil productores, en cerca de 400 mil fincas ubicadas en 20 departamentos. Las regiones cafeteras de Colombia disponen de diversas unidades de suelos, condiciones climáticas y rangos de altitud, la mayoría adecuados para el cultivo de las variedades Arábica (7). El café de Colombia se procesa por el método húmedo, para el cual se requiere contar con frutos de café maduro provenientes de una recolección selectiva; luego, los frutos se despulpan y se retira el mucilago de los granos, mediante la fermentación natural o mecánicamente (Becolsub), después los granos se lavan y secan al sol o por medios mecánicos.

Cuando el café está seco, los caficultores transportan el café pergamino a las cooperativas o puntos de compra. Posteriormente, el café es almacenado en las bodegas de Almacafé o de trilladoras particulares, y es allí donde se retira el pergamino y se hacen las clasificaciones por tamaño, peso, densidad, y finalmente se retiran y clasifican los defectos, de acuerdo con la resolución 05 del 2002 del Comité Nacional de Cafeteros de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (8). En esta resolución se establecen los criterios y el número máximo admisible de defectos en el café a exportar, en dos grupos, así:

- Defectos del primer grupo: granos negros llenos, parciales o secos, vinagres enteros o parciales, reposados amarillos o carmelitas y ámbar o mantequilla
- Defectos del segundo grupo: grano flojo, cardenillo, decolorado (veteado y blanqueado), mordido o cortado, picado

por insectos, sobre secado o quemado, partido, malformado o deformado, inmaduro, aplastado, flotador o balsudo, averanado o arrugado.

Al mismo tiempo, el café de buena calidad presenta buen sabor, sin sustancias contaminantes en el grano y en la bebida, composición química natural y buenas características físicas del grano (16).

Los defectos del café se presentan cuando los granos o la bebida carecen de las cualidades propias y esperadas del producto. Los defectos del café en almendra constituyen un producto no conforme y dañan el aspecto físico de los granos; además, producen bebidas con aromas y sabores desagradables o pérdida de su inocuidad. Los granos brocados, vinagres, negros, decolorados, mordidos y mohosos son los defectos del café que tienen mayor efecto negativo en la calidad de la bebida (16, 19).

Los granos defectuosos se presentan desde la etapa del cultivo, principalmente por plagas como la broca del café. Sin embargo, la mayoría de los defectos del café se generan por un inadecuado beneficio; es así como en unas pocas horas puede deteriorarse la calidad de los granos producidos, lo cual se constituye en pérdidas de oportunidad y de mejores precios o de bonificación por el producto. Se estima que más del 80% de los defectos del grano, que incluyen los granos vinagres, decolorados, flojos y mohosos son ocasionados por un inadecuado beneficio y secado. Algunos defectos se generan en una etapa del procesamiento del café y otros tienen su causa en fallas en varias de las etapas del proceso del café (6, 19).

En la investigación sobre el mejoramiento de la calidad del café por medio de la prevención de mohos, que se desarrolló en los años 2001 y 2002, en 59 fincas ubicadas

en los municipios de Chinchiná, Palestina, Manizales en el departamento de Caldas, y en Santa Rosa de Cabal en Risaralda, se encontró que el 67% de las muestras tomadas presentaron defectos fermento o *stinker* en la bebida. En el 82% de las fincas que usaban la fermentación mezclaban cafés despulpados por dos hasta 9 días, y el 41% de aquellas que desmucilaginan el café lo mezclaban con cafés por dos hasta 5 días, y sólo en la mitad de las fincas se lavaba este café antes de secarlo. El defecto contaminado y fenólico se percibió en el 3,6% de las muestras de café pergamino de estas fincas¹.

En los análisis de la calidad del café procedente de las diferentes agencias y cooperativas del país, realizados en septiembre y diciembre de 2013, y en los meses de mayo, julio y diciembre de 2014, se encontraron los siguientes valores en promedio: 4,4% de defectos en taza conformados por 41,9% de fermento, 33,5% de químico y fenol, 14,8% de reposo y 9,9% de moho; el porcentaje de granos de café brocados en estos meses varió de 0% a 12,1%, con un promedio de 2,0%²³⁴⁵⁶.

La recolección de frutos maduros y sanos son los primeros requisitos para obtener café de buena calidad; sin embargo, para asegurar la calidad del café hasta la bebida es necesario que en los procesos poscosecha, como el beneficio, secado y almacenamiento, se apliquen las buenas prácticas agrícolas y de manufactura, para garantizar una producción de buena calidad desde la finca (15).

Salazar *et al.* (27) afirman que un mayor sombrío a una altitud menor a 700 m, favorece la calidad del café arábica en Costa Rica, y condiciones de altitud entre 1.000 y 1.300 m, con sombrío moderado, influyen en la uniformidad, mayor tamaño del grano y mejor calidad de la bebida. Duicela *et al.* (2), en todas las regiones del Ecuador, registraron que las características organolépticas del café son similares y que el tamaño del grano se relacionó con el sabor, la acidez y el cuerpo. Silva *et al.* (28), para café descascado de Minas Gerais (Brasil), cultivado en rangos de altitud de 700 a 920 m y entre 920 y 1.120 m, concluyeron que la presencia de granos defectuosos ejerce una mayor influencia sobre la calidad, que el factor altitud.

El tamaño y forma del grano de café depende principalmente de la variedad botánica cultivada. Adicionalmente, el cultivo del café se desarrolla y crece dentro de un rango térmico de 18 a 22°C, temperaturas que corresponden a diferentes altitudes, según la latitud en los países productores de café. Por ejemplo, para Brasil este rango está entre 400 y 1.100 m, en Centroamérica entre los 700 y 1.700 m y para Colombia entre 1.200 y 1.850 m (11).

En esta investigación se midieron las características físicas del grano de café proveniente de 162 fincas, variables que se analizaron con respecto a la trazabilidad de origen (departamento, unidad de suelo, altitud y variedad) y de proceso (tipo de beneficio fermentación vs desmucilaginado mecánico-Becolsub, secado al sol vs mecánico

¹ CENICAFÉ. Mejoramiento de la calidad del café por medio de la prevención de mohos. p. 5-70. En: Informe anual de actividades de investigación: Disciplina Química industrial. Chinchiná: Cenicafe, 2002. 103 p.

² ALMACAFÉ. Informe mensual de taza Septiembre de 2013. Bogotá: Gerencia Técnica, 2013.

³ ALMACAFÉ. Informe mensual de taza Diciembre de 2013. Bogotá: Gerencia Técnica, 2013.

⁴ ALMACAFÉ. Informe mensual de taza Mayo de 2014. [Bogotá: Gerencia Técnica, 2014.

⁵ ALMACAFÉ. Informe mensual de taza Julio de 2014. Bogotá: Gerencia Técnica, 2014.

⁶ ALMACAFÉ. Informe mensual de taza Diciembre de 2014. Bogotá: Gerencia Técnica, 2014.

y de la aplicación de buenas prácticas vs los procesos de beneficio realizados en las fincas de diferentes regiones). Se midieron las variables: humedad del café en pergamino y almendra, total defectos y total de almendra sana, proporción de granos brocados, decolorados, vinagres, mordidos, factor de rendimiento en trilla, proporción de grano almendra en cada tamaño de malla, y proporción de almendra sana vs la cantidad de pergamino entregado por el caficultor en el punto de compra.

Mediante la trazabilidad del café de cada sistema de producción y con la evaluación de las características físicas del café producido se diagnosticaron las fallas asociadas a los procesos de beneficio y almacenamiento del café de estas fincas y regiones. Se midió el impacto en la calidad física del grano de café por la aplicación *in situ* en las fincas de las buenas prácticas agrícolas de beneficio vs la calidad del grano producido en cada finca por métodos tradicionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de las fincas. Las fincas y lotes de café se escogieron entre Cenicafé y el Servicio de Extensión en el año 2005, teniendo en cuenta los registros del Sistema de Información Cafetera SICA, la información climática de los municipios, altitudes y unidades de suelos, en los respectivos departamentos; además, las fincas del muestreo cumplieron con los siguientes requisitos para participar en la investigación:

1. Fincas en municipios y departamentos de producción de café en Colombia donde el Servicio de Extensión identificara la aplicación de buenas prácticas agronómicas.
2. Fincas representativas del departamento que se hubieran destacado por su calidad,

según criterios y registros del Servicio de Extensión de la zona

3. Cultivos del segundo y tercer año de producción
4. Cultivos que no se renovarían por siembra o zoqueo en los 2 años siguientes al inicio del muestreo.
5. Lotes de café dentro de los rangos de altitud en estudio (menor a 1.300 m, entre 1.300 y 1.600 m y por encima de 1.600 m), con información conocida sobre la unidad de suelo y el tipo de variedad cultivada.
6. Disponibilidad de la finca para: marcación del lote, visita del Extensionista para la toma de las muestras de café, durante al menos 2 años de cosechas.

Registros de trazabilidad. En Cenicafé se preparó un formato para el registro de la trazabilidad del café de las fincas, con base en el Avance Técnico No. 355 (23), que se compartió con cada uno de los Extensionistas y en el cual se registraron la localización geográfica de la finca y el lote, el departamento, el municipio, la vereda, el nombre de la finca, la altitud del lote, la temperatura ambiente, la unidad de suelo, la variedad, la edad del lote, el porcentaje de infestación por broca en la finca y en el lote, las enfermedades del cafetal, el tipo de productos usados para el manejo fitosanitario del cultivo, las prácticas realizadas en cada etapa del beneficio, el tipo de despulpado, el tipo de remoción de mucílago, el tipo de fermentación, los tiempos de fermentación, la forma de lavado, el tipo de secado, el combustible, el lugar y las condiciones de almacenamiento, el tipo de empaque y la forma de venta del café que se producía en la finca en las fechas de desarrollo de esta investigación.

Procedencia de las muestras. Los cultivos de café se localizaron en 216 lotes, 162 fincas ubicadas entre 1.050 y 2.050 m de altitud, en 15 unidades de suelos, 112 veredas, 35 municipios, siete departamentos cafeteros (Antioquia, Caldas, Cesar, Huila, Quindío, Tolima y Santander), además de varios lotes de las Estaciones Experimentales de Cenicafé en Pueblo Bello, Santander, Paraguaicito y Naranjal (Tablas 1 y 2).

Se coordinó el cronograma para la toma de muestras en cada departamento según la época de cosecha. Así, para el segundo semestre del año 2005 se inició la investigación con las cosechas de los departamentos de Antioquia, Quindío, Caldas, Cesar (Sierra Nevada de Santa Marta y Serranía del Perijá) y Santander. El primer semestre del 2006 se realizó el primer muestreo en Tolima y

Huila, y el segundo semestre el muestreo se realizó en los departamentos de Antioquia, Quindío, Caldas, Cesar y Santander. En el 2007 se completaron los muestreos de Tolima y Huila. Al final de la investigación, en cada departamento, al Coordinador de Extensión se le enviaron los resultados de los análisis sensoriales de cada muestra, finca y cosecha, junto con las recomendaciones en los procesos para mejorar la calidad del producto de cada finca.

Prácticas de beneficio. Para el estudio del efecto de los factores de proceso de beneficio en la calidad del café de las fincas, se tomaron dos tipos de muestras según dos prácticas de beneficio: café proceso finca, que correspondió a la muestra de café pergamino que se había producido en días recientes al muestreo, según el método

Tabla 1. Localización de las fincas participantes en el muestreo de trazabilidad de la calidad del grano de café.

| Departamento | Municipio | Vereda | Departamento | Municipio | Vereda |
|--------------|-----------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| Antioquia | Andes | Alto del Rayo | Huila | Acevedo | El Mesón |
| | | Bajo Cañaveral | | | La Marimba |
| | | Cascajero | | | La Palma |
| | | El Chispero | | | San Isidro |
| | | La Pava | | | La Esmeralda |
| | Betania | Momblán | | Aipe | La Primavera |
| | | Palestina | | Campo Alegre | San Miguel |
| | | San Gregorio | | Hobo | El Batán |
| | Concordia | Sorrento | | Estoracal | |
| | | Yarumal | | El Recreo | |
| | | Cajones | | Ibirco | |
| | | El Tirado | | Juancho | |
| | | La Italia | | San Francisco | |
| | Palermo | Las Ánimas | | Villa María | |
| | | Pueblo Rico | | El Triunfo | |
| Santa Rita | | Pradera | | | |
| Yarumal | | El Mirador | | | |
| Zona Urbana | Guadalito | | | | |

Continúa...

...continuación

| Departamento | Municipio | Vereda | Departamento | Municipio | Vereda |
|---------------------|--------------------|----------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| Antioquia | Fredonia | La Loma | Huila | Pitalito | Alto Naranjo |
| | | La Toscana | | | Betania |
| | Murrupal | Los Laureles | | | |
| | Giraldo | La Sierrita | | Rivera | Buena Vista |
| | Pueblo Rico | Castalia | | | Honda Alta |
| Patudal | | Loma Larga | | | |
| Cesar | Santa Bárbara | El Guayabo | Santa María | | El Encanto |
| | | Las Mercedes | | | San Joaquín |
| | | Los Naranjos | | | Santa Helena |
| | La Paz | Morro Plancho | Teruel | Arrayanes | |
| | | Filo Machete | | La Floresta | |
| Pueblo Bello | La Laguna | Ibagué | La María | | |
| | Cabecera Municipal | | Río Íquira | | |
| | Costa Rica | | El Cural | | |
| | La Carolina | | Perico | | |
| Quindío | Armenia | Morro Plancho | Tolima | Libano | Aguador Naranjo |
| | | El Caimo | | | Campo Alegre |
| | | El Rhin | | | El Delirio |
| | | La Patria | | | La Trinidad |
| | | La Revancha | | | Meseta Baja |
| | Buena Vista | Marmato | Rovira | Meseta Baja (Alta) | |
| | | Mesopotamia | | Pantanillo | |
| | Calarcá | Río Verde Bajo | Chinchiná | Buenos Aires | |
| | | Barcelona | | Calabazos | |
| | | La Española | | La Luisa | |
| La Paloma | | La Palmita | | | |
| La Julia | | Los Andes | | | |
| Circasia | La Pola | Manizales | Pijao | | |
| | Villarazo | | Paz Baja | | |
| | El Paraíso | | Altamira | | |
| Filandia | El Placer | Palestina | Naranjal | | |
| | El Vigilante | | El Rosario | | |
| Montenegro | Calle Larga | Risaralda | Hoyo Frío | | |
| | Pueblo Tapao | | Manizales | | |
| Santander | Florida Blanca | Vericute | Java | | |
| | | | Cartagena | | |
| | | | La Esperanza | | |
| | | | Santana | | |
| | | | Sarciri | | |
| | | | Surrumbí | | |

Tabla 2. Rangos de altitud, unidades de suelo y materiales parentales de los sitios de muestreo, en cada departamento.

| Rango de altitud | Unidad de suelo | Material parental | Departamento |
|-------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
| Menor a 1.300 m | Chinchiná | Ceniza volcánica | Antioquia |
| | Parnaso-200 | Ígneo extrusivo | |
| | Salgar | Metamórfico | |
| | Suroeste | Sedimentario | |
| | Chinchiná | Ceniza volcánica | Caldas |
| | La Montaña | Ígneo - volcánica | Cesar |
| | Malabar | Ceniza volcánica | Quindío |
| | Montenegro | Ceniza volcánica | |
| | Quindío | Ceniza volcánica | |
| | Líbano | Ceniza volcánica | Tolima |
| San Simón | Ígneo intrusivo | | |
| Entre 1.300 y 1.600 m | Chinchiná | Ceniza volcánica | Antioquia |
| | Parnaso-200 | Ígneo extrusivo | |
| | Suroeste | Sedimentario | |
| | Chinchiná | Ceniza volcánica | |
| | La Montaña | Ígneo - volcánica | Cesar |
| | Perijá | Sedimentario | |
| | Campo Alegre | Ígneo intrusivo | Huila |
| | La Espiga | Ígneo intrusivo | |
| | San Simón | Ígneo intrusivo | |
| | Siberia | Ígneo extrusivo | |
| | Montenegro | Ceniza volcánica | Quindío |
| | Quindío | Ceniza volcánica | |
| | Paujil | Metamórfico | Santander |
| | Líbano | Ceniza volcánica | Tolima |
| San Simón | Ígneo intrusivo | | |
| Mayor a 1.600 m | Parnaso-200 | Ígneo extrusivo | Antioquia |
| | Salgar | Metamórfico | |
| | Suroeste | Sedimentario | |
| | Chinchiná | Ceniza volcánica | Caldas |
| | Perijá | Sedimentario | Cesar |
| | Campo Alegre | Ígneo intrusivo | Huila |
| | La Espiga | Ígneo intrusivo | |
| | San Simón | Ígneo intrusivo | |
| | Siberia | Ígneo extrusivo | |
| | San Simón | Ígneo intrusivo | Tolima |

registrado en la trazabilidad, el cual se tomó del sitio de almacenamiento en la finca; y la muestra de café BPM que se produjo con el café cosechado del mismo lote de la finca, mediante fermentación y secado al sol, por intervención del Extensionista, siguiendo los protocolos de buenas prácticas preparados por Cenicafé para esta investigación (15, 23, 25), y usando los equipos y agua del beneficiadero de la finca.

Beneficio de las muestras de café -BPM en las fincas. Se tomaron 40 kg del café maduro cosechado manualmente, se hizo una separación hidráulica en canecas plásticas usando el agua suministrada al beneficiadero de la finca, allí se descartaron las impurezas, cáscaras y frutos secos; seguidamente, el café se despulpó en una despulpadora de motor y sin agua, el grano en baba se pasó por zaranda y se dejó en fermentación sin agua, durante 16 h, después de las cuales el café se lavó en cuatro enjuagues, siguiendo el método de lavado de Zambrano (29); finalmente, los granos se secaron al sol, en capas de 15 kg por metro cuadrado, en superficies de cemento o mallas, según disponibilidad en las fincas. Las muestras secas se empacaron en bolsas plásticas transparentes, se etiquetaron con el nombre de la finca, lote, variedad, fecha, departamento y municipio y se despacharon a Cenicafé, junto con las muestras de proceso finca, debidamente etiquetadas.

Los registros de trazabilidad del café de las fincas y la información de la etiqueta de las muestras se registraron en bases

de datos. A cada muestra de café se le asignó un código único. Cada muestra se homogeneizó en el divisor Boerner y se repartió en varias muestras para los análisis físicos, sensoriales y de contenidos de elementos químicos del café.

Análisis físicos. Se efectuaron 572 análisis físicos del grano de café siguiendo los métodos estandarizados en el laboratorio de la disciplina de Calidad de Cenicafé^{7,8}. Se homogeneizó un kilogramo de muestra de café pergamino, la humedad se midió en 400 g de café pergamino en el medidor Kappa; se separaron y pesaron los defectos guayaba y pelado del grano de café en pergamino.

Se trillaron 250 g de café pergamino y se separaron los defectos de la almendra; el total de la cantidad de almendra sana de café se clasificó por tamaño en las mallas circulares de 17/64, 16/64, 15/64 y 14/64 pulgadas, se pesaron los granos de café retenidos en cada malla, se estimó el porcentaje de cada tamaño y se determinó el factor de rendimiento en trilla, según el método de FNC (5).

Sobre el peso total de la almendra se estimaron los porcentajes de almendra sana y el total de defectos o almendras defectuosas, y los defectos brocado, vinagre, decolorado, mordido y negro. También se estimó el porcentaje de almendra sana en compra con respecto al peso del pergamino, restando el cisco, las impurezas y la almendra defectuosa.

Análisis estadísticos. Esta investigación es de tipo descriptivo y cuantitativo. La información se organizó para el análisis

⁷ PUERTA Q., G.I. Procedimiento para el análisis de la calidad física del café: Servicio de análisis café almendra. Chinchiná : Cenicafé, 2002. 3 p.

⁸ PUERTA Q., G.I. Procedimiento para el análisis de la calidad física del café: Servicio de análisis café pergamino. Chinchiná : Cenicafé, 2002. 4 p.

estadístico según los factores de origen y de proceso del café, así:

Factores de origen:

- Departamentos de origen: Antioquia, Caldas, Quindío, Santander, Cesar, Tolima, Huila
- Variedades: Caturra, Colombia, Típica, Tabi, Maragogipe, Catimor
- Rangos de altitud: menor a 1.300 m, entre 1.300 y 1.600 m y mayor a 1600 m
- Material parental del suelo: ceniza volcánica, ígneo – volcánica, ígneo - intrusivo, ígneo - extrusivo, sedimentario, metamórfico
- Sombrío: sí y no
- Unidad de suelos: Chinchiná, La Montaña, Montenegro, Parnaso-200, Paujil, Perijá, Quindío, Suroeste, Malabar, Salgar, Campoalegre, La Espiga, Líbano, San Simón, Siberia
- Cosechas: Cos1 y Cos2

Factores de proceso:

- Prácticas de beneficio: proceso finca y BPM
- Tipos de beneficio: fermentación (FN) y Becolsub (BEC)
- Tipos de secado: al sol y mecánico
- Procedencia del agua: nacimiento (manantial) y acueducto

Se efectuó el análisis de estadística descriptiva a través de la estimación de la media, la mediana, el valor mínimo y el valor máximo de cada variable, y se realizó el análisis de varianza ANOVA (Duncan 5%) para comparar las medias estimadas de cada variable de la calidad física del café, según los factores de origen y proceso. Se realizaron análisis de correlación de *Pearson* al nivel del 5%, entre las variables físicas del grano de café con el tamaño de los granos, según la malla; con los rendimientos en trilla y con las cualidades sensoriales de la bebida. Además,

se efectuaron histogramas de frecuencia de la humedad y gráficas de relación entre las variables de rendimientos del grano de café.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las fincas y los procesos.

El 57% de las fincas tenían áreas superiores a 5,1 ha en café y un 43% correspondieron a fincas pequeñas. En promedio, se registró 1,5% de infestación por broca en los lotes y 2,5% en las fincas. Con respecto a la altitud, el 24,5% de los lotes de café estaban ubicados por debajo de los 1.300 m, 44,4% entre 1.300 y 1600 m y 31,1% por encima de 1.600 m.

En el 70% de las fincas se efectuaba fermentación con agua, en el 46,3% de las fincas realizaban mezclas de café despulpados de varios días, hasta de 5 días. El combustible más usado para el secado del café en las fincas era el carbón mineral, seguido del aceite combustible para motores, ACPM. El 20% de los secadores al sol eran heldas, paseras y carros secadores con superficie de madera, otros tenían marquesinas y patios en cemento.

Se registraron variaciones en maneras, tiempos, infraestructura y mezclas para efectuar el beneficio y el secado del café en las fincas visitadas, que evidenciaron fallas en el control de procesos y riesgos para la buena calidad del café, sobretodo en el secado, en la fermentación y en el desmucilaginado mecánico, así como deficiencias tecnológicas en los equipos que se usaban para el beneficio del café.

Calidad física del café pergamino y almendra de las fincas. Se observó variación en los valores de variables que caracterizan la calidad física del grano de café pergamino y almendra de las fincas. Se registraron

valores extremos, cafés de muy buena calidad y otros de mala calidad. El daño por broca de la almendra contribuyó a un mayor porcentaje de defectos totales del café, un menor contenido de almendra sana y un mayor valor del rendimiento en trilla (Tabla 3). También se encontró un rango alto de variación del contenido de humedad de 9,2% en los granos de café pergamino y 10,2% en los granos almendra.

Humedad del grano de café en pergamino. Solamente el 60% de las muestras presentaron contenidos de humedad dentro del rango admisible (Figura 1). El promedio del contenido de humedad del café en pergamino de las muestras de las fincas fue de 11,1% con un coeficiente de variación (C.V.) de 11,7%, con valores mínimo de 6,9% y máximo de 17,1%, que están fuera del rango admisible de humedad que es del 10% al 12%, donde se garantiza la conservación del producto (Tabla 3).

En todos los departamentos se observaron desviaciones en la humedad del grano de café por sobre secado y por falta de secado del café, lo cual ocasiona pérdidas de dinero y de calidad, así como riesgos para la inocuidad del producto (21, 25). Entre los factores de origen o proceso no hubo diferencias significativas en la humedad del café pergamino, pero sí en la humedad del grano en almendra, según la procedencia; específicamente el café de la unidad Suroeste y Paujil presentaron los mayores valores de porcentaje de humedad máxima. Igualmente, las mayores desviaciones en el contenido de humedad del grano de café se presentaron en las muestras que se procesaron por los métodos de las fincas (Tabla 4).

Aunque los promedios del contenido de humedad del grano de café no mostraron diferencias estadísticas, en general, las

muestras que se sobre-secaron correspondieron a secado mecánico, mientras que aquellas que se dejaron con altos contenidos de humedad fueron secadas al sol. Herrón (10), presentó un diagnóstico de la calidad en taza de 5.000 fincas en Colombia, de tamaños mayores a 10 ha en café, donde se presentaron defectos por fallas en el secado y granos con desviaciones en el valor de humedad comercial del café.

Los resultados hallados en esta investigación demuestran que es necesario mejorar las estrategias de control de la humedad del grano de café en las fincas, mediante capacitación de los caficultores y la disposición de medidores de humedad calibrados para el grano de café en las fincas o en lugares de las veredas cercanas, donde pueda brindarse este servicio a los caficultores. Como contribución a esta necesidad Oliveros *et al.* (13, 14) desarrollaron el método Gravimet, para estimar la humedad del café pergamino durante el secado al sol y en silos.

Calidad física del café pergamino. El café del departamento del Cesar y de la unidad de suelos La Montaña presentó el mayor porcentaje de grano guayaba, valor que fue significativamente diferente del correspondiente valor en el pergamino de los otros orígenes (Tabla 4). Esto explica el alto porcentaje de grano vinagre en los defectos almendra y los sabores a fermento en la bebida, que se encontraron en esta procedencia (26). El contenido de granos guayaba fue mayor en el café procedente de zonas por debajo de 1.300 m., en muestras procesadas por el método de la finca y que se secaron mecánicamente. Aunque los granos guayabas se producen desde la etapa del cultivo por diferentes factores climáticos y bióticos, su presencia en la muestra de café pergamino permite inferir que faltaron los controles y clasificaciones del café en la etapa del beneficio.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la calidad física del grano de las muestras de café de las fincas.

| Variable | Unidad de medida | No. de observaciones | Mínimo | Máximo | Primer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | Media |
|--|------------------|----------------------|--------|--------|----------------|---------|----------------|-------|
| Humedad del grano de café en pergaminado | % | 572 | 6,9 | 17,1 | 10,3 | 11,1 | 11,9 | 11,1 |
| Humedad del grano de café almendra | % | 531 | 7,8 | 16,9 | 10,9 | 11,7 | 12,5 | 11,7 |
| Grano guayaba | % | 572 | 0,0 | 11,2 | 0,0 | 0,2 | 0,6 | 0,6 |
| Grano pelado | % | 572 | 0,0 | 18,9 | 0,2 | 0,6 | 1,3 | 1,0 |
| Merma | % | 572 | 13,5 | 22,0 | 16,4 | 17,5 | 18,6 | 17,5 |
| Factor de rendimiento en trilla | Adimensional | 572 | 82,3 | 142,4 | 88,8 | 91,9 | 96,4 | 94,0 |
| Grano negro | % | 572 | 0,0 | 2,2 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 |
| Grano vinagre | % | 572 | 0,0 | 19,1 | 0,3 | 0,5 | 1,0 | 0,9 |
| Grano decolorado | % | 572 | 0,0 | 20,7 | 0,0 | 0,2 | 1,3 | 1,3 |
| Grano mordido | % | 572 | 0,0 | 10,1 | 0,5 | 0,9 | 1,7 | 1,3 |
| Grano brocado | % | 572 | 0,0 | 20,9 | 0,3 | 0,9 | 2,5 | 2,1 |
| Total defectos | % | 572 | 0,3 | 41,0 | 4,2 | 7,0 | 10,9 | 8,5 |
| Almendra sana/almendra total | % | 572 | 59,0 | 99,7 | 89,1 | 93,0 | 95,8 | 91,5 |
| Almendra sana en compra | % | 572 | 42,6 | 84,9 | 71,09 | 75,5 | 78,6 | 74,0 |
| Malla 17 | % | 572 | 19,6 | 95,6 | 54,0 | 64,9 | 74,7 | 63,8 |
| Malla 16 | % | 572 | 3,1 | 48,9 | 16,9 | 22,4 | 29,0 | 22,9 |
| Malla 15 | % | 572 | 0,9 | 30,0 | 6,1 | 8,5 | 11,5 | 9,1 |
| Malla 14 | % | 572 | 0,0 | 13,3 | 1,7 | 3,0 | 4,8 | 3,5 |

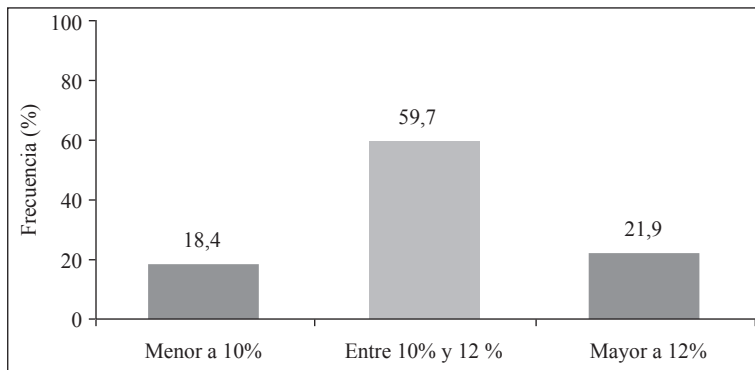


Figura 1. Frecuencia de muestras de café en pergamino de fincas con humedad por debajo de 10%, entre 10% y 12% y por encima de 12%.

De otro lado, se presentaron diferencias significativas en los granos pelados, así: las variedades Típica y Tabi presentaron menor contenido de granos pelados, que las otras variedades que conformaron otro grupo en esta variable. Así mismo, las diferencias fueron significativas en el valor del grano pelado entre tipo de beneficio, práctica de beneficio y tipo de secado, con valores mayores en las muestras de proceso finca, desmucilaginasadas mecánicamente y secadas en equipos mecánicos (Tabla 4).

Merma. La merma, representada por el cisco y las impurezas, se obtiene después de la operación de trilla, ésta varió de 13,5% a 22,0%, con un valor medio de 17,5%. Estas diferencias estuvieron influenciadas por la calidad física de los granos de café, la cantidad de defectos, la humedad y el tamaño del grano. Un valor menor de merma representa una mayor calidad física del café. Los menores valores de merma se registraron en el café de Cesar, en las variedades Tabi y Típica, en el café procesado por fermentación y secado al sol (Tabla 5). Según los datos de la Federación en el 2013, la merma en promedio era del 20%, y en el 2015 del 19% (9). Montilla *et al.* (12) reportaron en el año 2006 valores de merma entre 17,8% a 18,4% para café variedad Colombia. Puerta (24)

encontró valores de rendimientos almendra/ pergamino de café maduro, equivalentes a mermas de 18,5% para café procesado por fermentación bajo agua, 17,3% para fermentación en seco y 19,9% para café desmucilaginado mecánicamente.

Factor de rendimiento en trilla. El factor de rendimiento en trilla varió de 82,3 a 142,4, con un valor promedio de 94,0. El factor de rendimiento en trilla indica la cantidad de café pergamino necesaria para obtener 70 kg de café excelso. Un valor más bajo de este factor significa un café con mejor calidad física, menor cantidad de defectos y un mayor tamaño del grano. Los menores valores del rendimiento en trilla se obtuvieron para el café que fue procesado por BPM, mediante la fermentación, por secado al sol y que se cultivó por encima de 1.600 m. Estadísticamente, los menores promedios del factor de rendimiento en trilla se obtuvieron en Cesar y Santander con valores de 90,3 y 91,4.

La variedad Típica presentó un valor de rendimiento en trilla de 86,1, seguida de la variedad Tabi con 88,3, esto se explica por la menor cantidad de defectos, menor daño por plagas y mejores prácticas aplicadas en su proceso de beneficio, así como por el mayor tamaño del grano

Tabla 4. Promedios y diferencias de la humedad del café en pergamino, el grano guayaba y el grano pelado de las muestras de café de las fincas, según los factores de estudio.

| Factor | Humedad del café pergamino (%) | | | | Grano guayaba (%) | | | | Grano pelado (%) | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|------|-------|-----|-------------------|------|-------|-----|------------------|------|-------|-----|
| | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif |
| Departamento | | | | | | | | | | | | |
| Antioquia | 8,8 | 17,1 | 11,1 | A | 0,0 | 5,6 | 0,5 | CD | 0,0 | 7,8 | 1,4 | B |
| Caldas | 8,5 | 15,5 | 11,5 | A | 0,0 | 3,1 | 0,6 | C | 0,1 | 4,8 | 1,2 | B |
| Cesar | 9,5 | 14,2 | 11,3 | A | 0,0 | 11,2 | 1,3 | A | 0,0 | 6,6 | 0,7 | E |
| Huila | 7,8 | 15,3 | 11,0 | A | 0,0 | 2,9 | 0,4 | D | 0,0 | 12,8 | 1,0 | CD |
| Quindío | 6,9 | 14,5 | 10,9 | A | 0,0 | 3,1 | 0,3 | E | 0,0 | 6,5 | 0,9 | D |
| Santander | 8,7 | 15,7 | 11,5 | A | 0,0 | 2,0 | 0,3 | DE | 0,0 | 18,9 | 1,9 | A |
| Tolima | 9,0 | 13,3 | 11,0 | A | 0,0 | 3,7 | 0,9 | B | 0,0 | 3,7 | 1,0 | C |
| Variedad | | | | | | | | | | | | |
| Catimor | 11,5 | 13,0 | 12,0 | A | 0,0 | 5,6 | 1,3 | A | 0,3 | 2,0 | 1,0 | A |
| Caturra | 6,9 | 15,7 | 11,0 | A | 0,0 | 11,2 | 0,4 | D | 0,0 | 18,9 | 1,1 | A |
| Colombia | 7,8 | 17,1 | 11,1 | A | 0,0 | 9,0 | 0,6 | C | 0,0 | 12,8 | 1,0 | A |
| Maragogipe | 10,8 | 12,2 | 11,5 | A | 0,1 | 0,7 | 0,3 | D | 0,4 | 1,9 | 1,2 | A |
| Tabi | 10,2 | 12,7 | 11,3 | A | 0,0 | 3,9 | 0,9 | B | 0,0 | 4,0 | 0,5 | B |
| Típica | 10,5 | 12,5 | 11,2 | A | 0,0 | 2,9 | 1,0 | AB | 0,0 | 0,7 | 0,3 | B |
| Sombrío | | | | | | | | | | | | |
| No | 6,9 | 15,7 | 11,0 | A | 0,0 | 3,7 | 0,5 | B | 0,0 | 18,9 | 1,0 | A |
| Sí | 8,0 | 17,1 | 11,3 | A | 0,0 | 11,2 | 0,8 | A | 0,0 | 12,8 | 1,0 | A |
| Rango de altitud (m) | | | | | | | | | | | | |
| <1.300 | 8,0 | 14,5 | 11,1 | A | 0,0 | 9,0 | 0,7 | A | 0,0 | 6,6 | 0,9 | C |
| 1.300 a 1.600 | 6,9 | 17,1 | 11,1 | A | 0,0 | 11,2 | 0,5 | B | 0,0 | 18,9 | 1,2 | A |
| >1.600 | 8,4 | 15,3 | 11,0 | A | 0,0 | 3,7 | 0,5 | B | 0,0 | 6,4 | 1,0 | B |
| Unidad de suelo | | | | | | | | | | | | |
| Campoalegre | 8,3 | 13,7 | 10,7 | C | 0,0 | 2,9 | 0,5 | C | 0,0 | 5,6 | 1,1 | C |
| Chinchiná | 8,5 | 15,5 | 11,2 | C | 0,0 | 3,1 | 0,5 | C | 0,1 | 4,8 | 1,3 | B |
| La Espiga | 8,3 | 13,4 | 11,0 | BC | 0,0 | 0,4 | 0,1 | E | 0,0 | 1,1 | 0,3 | E |
| La Montaña | 9,5 | 14,2 | 11,4 | ABC | 0,0 | 11,2 | 1,7 | A | 0,0 | 6,6 | 0,7 | D |
| Libano | 10,2 | 13,3 | 11,2 | BC | 0,0 | 1,4 | 0,5 | C | 0,2 | 2,8 | 1,1 | BC |
| Malabar | 10,9 | 14,1 | 12,3 | A | 0,0 | 0,5 | 0,3 | CDE | 0,4 | 1,8 | 1,1 | BC |
| Montenegro | 8,4 | 13,2 | 11,0 | BC | 0,0 | 3,1 | 0,3 | DE | 0,0 | 6,5 | 0,9 | D |
| Parnaso-200 | 9,2 | 13,9 | 11,1 | BC | 0,0 | 1,0 | 0,3 | CDE | 0,1 | 3,7 | 1,1 | C |
| Paujil | 8,7 | 15,7 | 11,5 | ABC | 0,0 | 2,0 | 0,3 | CDE | 0,0 | 18,9 | 1,9 | A |
| Perijá | 10,3 | 12,5 | 11,1 | BC | 0,0 | 2,9 | 0,2 | DE | 0,0 | 3,9 | 0,7 | D |
| Quindío | 6,9 | 14,5 | 10,6 | C | 0,0 | 2,6 | 0,4 | CD | 0,1 | 3,0 | 0,9 | CD |
| Salgar | 9,2 | 13,0 | 11,7 | AB | 0,0 | 5,6 | 1,1 | B | 0,2 | 2,0 | 0,9 | CD |
| San Simón | 7,8 | 15,3 | 11,0 | BC | 0,0 | 3,7 | 0,6 | C | 0,0 | 12,8 | 0,9 | CD |
| Siberia | 9,3 | 13,0 | 11,1 | ABC | 0,0 | 1,9 | 0,6 | C | 0,4 | 6,4 | 1,5 | B |
| Suroeste | 9,0 | 17,1 | 11,5 | ABC | 0,0 | 4,5 | 0,5 | C | 0,0 | 7,8 | 2,0 | A |

Continúa...

...continuación

| Factor | Humedad del café pergamino (%) | | | | Grano guayaba (%) | | | | Grano pelado (%) | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------|-------|-----|-------------------|------|-------|-----|------------------|------|-------|-----|
| | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif |
| Material parental | | | | | | | | | | | | |
| Ceniza volcánica | 6,9 | 15,5 | 11,0 | B | 0,0 | 3,1 | 0,4 | C | 0,0 | 6,5 | 1,0 | C |
| Ígneo extrusivo | 9,2 | 13,9 | 11,1 | AB | 0,0 | 1,9 | 0,4 | C | 0,1 | 6,4 | 1,3 | B |
| Ígneo intrusivo | 7,8 | 15,3 | 10,9 | AB | 0,0 | 3,7 | 0,5 | B | 0,0 | 12,8 | 0,9 | D |
| Ígneo-volcánica | 9,5 | 14,2 | 11,4 | B | 0,0 | 11,2 | 1,7 | A | 0,0 | 6,6 | 0,7 | E |
| Metamórfico | 8,7 | 15,7 | 11,6 | A | 0,0 | 5,6 | 0,6 | B | 0,0 | 18,9 | 1,6 | A |
| Sedimentario | 9,0 | 17,1 | 11,3 | AB | 0,0 | 4,5 | 0,4 | C | 0,0 | 7,8 | 1,4 | AB |
| Procedencia del agua | | | | | | | | | | | | |
| Acueducto | 6,9 | 17,1 | 11,1 | A | 0,0 | 11,2 | 0,5 | B | 0,0 | 7,8 | 1,0 | B |
| Nacimiento | 7,8 | 15,7 | 11,1 | A | 0,0 | 9,0 | 0,6 | A | 0,0 | 18,9 | 1,1 | A |
| Cosecha | | | | | | | | | | | | |
| Cosecha 1 | 6,9 | 15,3 | 10,9 | A | 0,0 | 9,0 | 0,5 | B | 0,0 | 7,8 | 0,9 | B |
| Cosecha 2 | 8,0 | 17,1 | 11,4 | A | 0,0 | 11,2 | 0,7 | A | 0,0 | 18,9 | 1,3 | A |
| Práctica de beneficio | | | | | | | | | | | | |
| BPM | 7,8 | 15,5 | 11,1 | A | 0,0 | 5,6 | 0,2 | B | 0,0 | 7,8 | 0,6 | B |
| Proceso Finca | 6,9 | 17,1 | 11,0 | A | 0,0 | 11,2 | 1,0 | A | 0,0 | 18,9 | 1,5 | A |
| Tipo de beneficio | | | | | | | | | | | | |
| Becolsub | 6,9 | 14,5 | 10,9 | A | 0,0 | 4,8 | 0,6 | A | 0,0 | 12,8 | 1,4 | A |
| Fermentación | 7,8 | 17,1 | 11,1 | A | 0,0 | 11,2 | 0,5 | A | 0,0 | 18,9 | 0,9 | B |
| Tipo de secado | | | | | | | | | | | | |
| Mecánico | 6,9 | 17,1 | 11,0 | A | 0,0 | 9,0 | 1,1 | A | 0,0 | 7,8 | 1,6 | A |
| Solar | 7,8 | 15,7 | 11,1 | A | 0,0 | 11,2 | 0,5 | B | 0,0 | 18,9 | 0,9 | B |

Dif: Letras distintas indican diferencias significativas por cada factor (Duncan al 5%).

de estas variedades. El mayor valor de rendimiento se registró con la variedad Catimor con 97,7.

El factor de rendimiento de las muestras de café de los cultivos por encima de 1.600 m fue de 92,4, en comparación con el valor registrado en las muestras provenientes de cultivos por debajo de 1.300 m de altitud (96,8). Por unidades de suelo, el menor rendimiento se obtuvo en las muestras de la unidad Perijá en el Cesar, y el mayor valor en rendimiento se encontró en muestras provenientes de la unidad Malabar en Quindío (Tabla 5).

Las muestras de café procesadas por BPM alcanzaron un factor de rendimiento de 92,0 en promedio, menor que el valor de las muestras de proceso finca (96,3). El rendimiento de las muestras procesadas por fermentación fue 93,1 mientras que las muestras procesadas por Becolsub registraron un valor de 97,5. El valor promedio del factor de rendimiento en trilla también fue menor en las muestras secadas al sol (92,8) comparadas con las muestras secadas en secador mecánico que obtuvieron un valor de 100,0. En contraste, Díaz *et al.* (1), para muestras de café de los municipios de Supía, Riosucio (Caldas) y Quinchía (Risaralda) registraron valores del

Tabla 5. Promedios y diferencias de la humedad del café en almendra, la merma, el factor de rendimiento en trilla de las muestras de café de las fincas, según los factores de estudio.

| Factor | Humedad del café almendra (%) | | | | Merma (%) | | | | Factor de rendimiento en trilla (adimensional) | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------|-------|-----|-----------|------|-------|-----|--|-------|-------|-----|
| | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif |
| Departamento | | | | | | | | | | | | |
| Antioquia | 10,5 | 16,7 | 12,2 | A | 14,4 | 21,0 | 18,0 | B | 86,7 | 128,3 | 95,0 | C |
| Caldas | 8,0 | 16,4 | 11,9 | A | 15,5 | 20,9 | 18,5 | A | 85,5 | 119,0 | 98,9 | A |
| Cesar | 10,2 | 15,4 | 12,2 | A | 14,0 | 19,1 | 16,3 | E | 82,3 | 142,4 | 90,3 | E |
| Huila | 8,1 | 16,9 | 11,6 | A | 14,2 | 21,7 | 17,0 | C | 84,5 | 118,6 | 91,9 | D |
| Quindío | 7,8 | 15,7 | 11,5 | A | 13,5 | 22,0 | 18,4 | A | 85,8 | 130,9 | 96,8 | B |
| Santander | 9,0 | 12,9 | 11,7 | A | 15,9 | 17,8 | 16,8 | D | 84,8 | 120,7 | 91,4 | DE |
| Tolima | 9,0 | 14,3 | 11,4 | A | 14,7 | 19,1 | 16,7 | D | 85,9 | 138,9 | 94,7 | C |
| Variedad | | | | | | | | | | | | |
| Catimor | 12,4 | 14,4 | 13,4 | A | 17,4 | 21,0 | 19,2 | A | 90,4 | 107,9 | 97,7 | A |
| Caturra | 7,8 | 15,9 | 11,5 | A | 13,5 | 22,0 | 17,7 | B | 84,3 | 130,9 | 94,0 | B |
| Colombia | 8,0 | 16,9 | 11,8 | A | 14,0 | 20,4 | 17,3 | C | 82,3 | 142,4 | 94,3 | B |
| Maragogipe | 11,9 | 13,4 | 12,6 | A | 17,2 | 18,2 | 17,7 | BC | 90,8 | 93,2 | 92,2 | B |
| Tabi | 10,4 | 13,0 | 11,9 | A | 15,0 | 17,9 | 16,4 | D | 84,5 | 98,1 | 88,3 | C |
| Típica | 11,3 | 12,8 | 12,1 | A | 15,9 | 16,5 | 16,1 | D | 85,4 | 86,6 | 86,1 | C |
| Sombrío | | | | | | | | | | | | |
| No | 7,8 | 16,9 | 11,6 | A | 14,2 | 21,7 | 17,5 | A | 84,8 | 138,9 | 93,3 | B |
| Sí | 8,7 | 16,7 | 12,1 | A | 13,5 | 22,0 | 17,3 | B | 82,3 | 142,4 | 95,4 | A |
| Rango de altitud (m) | | | | | | | | | | | | |
| <1.300 | 8,0 | 15,7 | 11,9 | A | 13,5 | 22,0 | 17,5 | B | 82,3 | 142,4 | 96,8 | A |
| 1.300 a 1.600 | 7,8 | 16,7 | 11,7 | A | 14,2 | 21,7 | 17,4 | B | 84,3 | 126,4 | 93,5 | B |
| >1.600 | 8,5 | 16,9 | 11,6 | A | 14,7 | 20,4 | 17,6 | A | 85,1 | 118,6 | 92,4 | C |
| Unidad de suelo | | | | | | | | | | | | |
| Campoalegre | 8,7 | 14,2 | 11,2 | C | 14,4 | 18,9 | 16,6 | I | 85,3 | 116,3 | 93,8 | D |
| Chinchiná | 8,0 | 16,4 | 11,9 | C | 14,4 | 20,9 | 18,1 | E | 85,5 | 119,0 | 96,2 | C |
| La Espiga | 8,1 | 13,6 | 11,6 | BC | 14,2 | 17,8 | 16,0 | J | 84,9 | 105,4 | 90,6 | F |
| La Montaña | 10,2 | 15,4 | 12,3 | ABC | 14,0 | 19,1 | 16,0 | J | 82,3 | 142,4 | 91,3 | EF |
| Líbano | 10,0 | 14,3 | 11,7 | BC | 15,5 | 19,1 | 17,2 | G | 87,6 | 138,9 | 97,1 | C |
| Malabar | 11,5 | 14,7 | 13,1 | A | 19,4 | 22,0 | 20,3 | A | 100,4 | 126,4 | 110,8 | A |
| Montenegro | 8,7 | 13,7 | 11,5 | BC | 13,5 | 21,0 | 18,2 | DE | 85,8 | 130,9 | 96,4 | C |
| Parnaso-200 | 10,5 | 15,3 | 12,0 | BC | 16,4 | 20,0 | 18,0 | F | 87,0 | 120,8 | 93,8 | D |
| Paujil | 9,0 | 12,9 | 11,7 | ABC | 15,9 | 17,8 | 16,8 | HI | 84,8 | 120,7 | 91,4 | EF |
| Perijá | 10,9 | 12,8 | 11,8 | BC | 15,9 | 19,1 | 17,0 | GH | 84,3 | 96,8 | 87,5 | G |
| Quindío | 7,8 | 15,7 | 11,2 | C | 17,2 | 20,2 | 18,7 | C | 88,1 | 116,7 | 96,1 | C |
| Salgar | 10,8 | 14,4 | 12,8 | AB | 17,4 | 21,0 | 19,1 | B | 90,4 | 107,9 | 96,9 | C |
| San Simón | 8,5 | 16,9 | 11,7 | BC | 14,5 | 21,7 | 16,8 | I | 84,5 | 118,6 | 92,1 | E |
| Siberia | 10,1 | 12,7 | 11,6 | ABC | 15,8 | 20,4 | 18,3 | D | 86,9 | 102,7 | 91,4 | EF |
| Suroeste | 11,1 | 16,7 | 12,7 | ABC | 15,5 | 19,4 | 17,9 | F | 86,7 | 128,3 | 99,4 | B |

Continúa...

...continuación

| Factor | Humedad del café almendra (%) | | | | Merma (%) | | | | Factor de rendimiento en trilla (adimensional) | | | |
|------------------------------|-------------------------------|------|-------|-----|-----------|------|-------|-----|--|-------|-------|-----|
| | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif | Mín | Máx | Media | Dif |
| Material parental | | | | | | | | | | | | |
| Ceniza volcánica | 16,4 | 16,4 | 11,6 | B | 13,5 | 22,0 | 18,2 | A | 85,5 | 138,9 | 96,6 | A |
| Ígneo extrusivo | 15,3 | 15,3 | 11,8 | AB | 15,8 | 20,4 | 18,2 | A | 86,9 | 120,8 | 92,6 | CD |
| Ígneo intrusivo | 16,9 | 16,9 | 11,6 | AB | 14,2 | 21,7 | 16,7 | C | 84,5 | 118,6 | 92,3 | D |
| Ígneo-volcánica | 15,4 | 15,4 | 12,3 | B | 14,0 | 19,1 | 16,0 | D | 82,3 | 142,4 | 91,3 | E |
| Metamórfico | 14,4 | 14,4 | 12,2 | A | 15,9 | 21,0 | 17,6 | B | 84,8 | 120,7 | 93,3 | BC |
| Sedimentario | 16,7 | 16,7 | 12,3 | AB | 15,5 | 19,4 | 17,5 | B | 84,3 | 128,3 | 94,1 | B |
| Procedencia del agua | | | | | | | | | | | | |
| Acueducto | 7,8 | 16,7 | 11,6 | A | 14,2 | 22,0 | 17,6 | A | 84,5 | 126,4 | 93,7 | B |
| Nacimiento | 8,0 | 16,9 | 11,8 | A | 13,5 | 21,0 | 17,3 | B | 82,3 | 142,4 | 94,2 | A |
| Cosecha | | | | | | | | | | | | |
| Cosecha 1 | 8,1 | 16,9 | 11,6 | A | 14,1 | 21,0 | 17,2 | B | 83,1 | 142,4 | 93,3 | B |
| Cosecha 2 | 7,8 | 16,7 | 12,0 | A | 13,5 | 22,0 | 17,9 | A | 82,3 | 126,4 | 95,2 | A |
| Práctica de beneficio | | | | | | | | | | | | |
| BPM | 7,8 | 16,9 | 11,8 | A | 14,0 | 22,0 | 17,4 | B | 82,3 | 138,9 | 92,0 | B |
| Proceso Finca | 8,0 | 16,7 | 11,7 | A | 13,5 | 21,7 | 17,6 | A | 84,3 | 142,4 | 96,3 | A |
| Tipo de beneficio | | | | | | | | | | | | |
| Becolsub | 8,0 | 15,7 | 11,6 | A | 13,5 | 20,9 | 18,0 | A | 86,7 | 134,7 | 97,5 | A |
| Fermentación | 7,8 | 16,9 | 11,8 | A | 14,0 | 22,0 | 17,3 | B | 82,3 | 142,4 | 93,1 | B |
| Tipo de secado | | | | | | | | | | | | |
| Mecánico | 8,6 | 16,7 | 11,8 | A | 13,5 | 20,9 | 17,9 | A | 86,7 | 142,4 | 100,0 | A |
| Solar | 7,8 | 16,9 | 11,7 | A | 14,0 | 22,0 | 17,4 | B | 82,3 | 138,9 | 92,8 | B |

Dif: Letras distintas indican diferencias significativas por cada factor (Duncan al 5%) a

factor de rendimiento en trilla de 93,6, 91,8 y 90,6 para altitudes de 1.575 m, 1.725 y 1.875 m, respectivamente.

Almendra sana. El porcentaje del total de la almendra sana con respecto al total de la almendra obtenida en la trilla varió de 59,0% a 99,7%, con un promedio de 91,5%, valores que correspondieron a un mínimo de 42,6%, máximo de 84,9% y un promedio de 74,0% de almendra sana con respecto al pergamino, que es un valor cercano al límite en el cual el caficultor empieza a recibir incentivo por la calidad del café pergamino que produce y vende.

Según la Federación Nacional de Cafeteros, en el año 2015 el grano de café que se produjo en Colombia contenía más almendra sana (76%) en comparación con el café producido en el 2013 (75%), valores que según este reporte se deben a prácticas como la renovación de los cafetales, la siembra de variedades resistentes a la roya y la correcta fertilización, que son resultados del trabajo del Servicio de Extensión de la Federación y que representan una mejor calidad y un mayor ingreso inmediato para el caficultor en el momento de la venta del café. Cuando el café tiene más del 76% de almendra sana los caficultores reciben un incentivo por la

calidad. En el pago de las almendras no importa el tamaño, además pueden adicionarse hasta 15 granos con brocas de punto al total de la almendra sana (8, 9).

Almendra defectuosa. En promedio, las muestras presentaron 8,6% de defectos. Los valores máximos de defectos en los granos de café almendra de las fincas fueron en su orden para el brocado, decolorado, vinagre y mordido (Tablas 3, 6 y 7).

Las muestras secadas mecánicamente del proceso de la finca presentaron el mayor porcentaje de defectos, con valores de 12,9%, así como granos vinagres (1,6%) y decolorados (2,3%). En todas estas variables las diferencias resultaron significativas frente a las muestras secadas al sol.

Las muestras que se beneficiaron de forma más controlada mediante el proceso BPM presentaron un valor significativamente menor en el contenido total de defectos (7,0%) comparado con el promedio de 10,2% que se obtuvo en las muestras procesadas según el método de la finca, lo cual demuestra el efecto positivo del control del proceso en el beneficio, específicamente por la separación de frutos y granos defectuosos durante el beneficio, como se establece en las buenas prácticas agrícolas y de manufactura BPA y BPM del café (15).

En Caldas se presentó el mayor porcentaje de defectos (11,5%), seguido de Tolima y Quindío. Hubo un mayor porcentaje de defectos en las muestras procedentes de fincas ubicadas por debajo de 1.300 m (promedio 10,7%), donde los valores de los granos brocados, vinagres y decolorados fueron mayores en comparación del café cultivado a mayores altitudes. El porcentaje de defectos fue mayor en las muestras de proceso finca que se desmucilaginaron por Becolsub y que

se secaron mecánicamente (Tabla 7). Por el contrario, Fajardo y Sanz (3), afirman que hay menos defectos en el beneficio Becolsub que en el café producido por fermentación.

Silva *et al.* (28) para café descascado de Minas Gerais (Brasil), cultivado en rangos de altitud de 700 a 920 m y entre 920 y 1.120 m, concluyeron que la presencia de granos defectuosos ejerce una mayor influencia sobre la calidad, que el factor altitud.

Grano brocado. El mayor porcentaje de grano de café brocado se registró en el departamento de Caldas (4,9%), seguido de Quindío (4,6%), con valores estadísticamente iguales y diferentes de las otras procedencias, y los menores porcentajes se encontraron en Cesar, Santander y Huila, valores entre 0,9% y 1,0%. Por encima de 1.600 m se encontró 0,8% de granos brocados en promedio, comparado con las muestras cultivadas entre 1.300 y 1.600 m (2,29%) y el valor registrado en el café cultivado por debajo de 1.300 m, con 3,78% de grano brocado.

Granos vinagres. Estadísticamente los mayores porcentajes de granos de café vinagres se encontraron en Antioquia, Cesar y Tolima (Tabla 6). El porcentaje de granos vinagres fue mayor (1,1%) en altitudes menores a 1.300 m, en los otros rangos de altitudes varió en promedio entre 0,8% y 0,9%. Los granos vinagres se encontraron en mayor frecuencia en el café de los procesos no estandarizados de la finca, en los cafés procesados por Becolsub y secados mecánicamente y se atribuyen a sobre-fermentación, mal lavado del grano y a la falta de clasificaciones en el beneficio del café.

Granos decolorados. Estadísticamente los porcentajes de granos decolorados fueron iguales para todos los departamentos. Los mayores porcentajes de granos decolorados

Tabla 6. Promedios de los defectos negros, brocados y vinagres en el grano almendra, según los factores de estudio.

| Factor | Negro % | | | Brocado % | | | Vinagre % | | |
|-----------------------------|----------|-------|-----|-----------|-------|-----|-----------|-------|------|
| | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif |
| Departamento | | | | | | | | | |
| Antioquia | 0,06 | 172,4 | B | 1,12 | 118,6 | B | 1,50 | 121,5 | A |
| Caldas | 0,10 | 122,9 | AB | 4,90 | 80,0 | A | 0,71 | 83,1 | B |
| Cesar | 0,11 | 273,2 | AB | 1,14 | 160,5 | B | 1,10 | 257,7 | AB |
| Huila | 0,09 | 177,3 | AB | 0,96 | 163,0 | B | 0,77 | 110,4 | B |
| Quindío | 0,05 | 183,9 | B | 4,54 | 96,2 | A | 0,58 | 105,3 | B |
| Santander | 0,07 | 218,3 | B | 0,93 | 223,6 | B | 0,93 | 206,7 | AB |
| Tolima | 0,15 | 220,1 | A | 2,08 | 103,0 | B | 1,05 | 172,5 | AB |
| Variedad | | | | | | | | | |
| Catimor | 0,02 | 244,9 | A | 0,73 | 89,1 | A | 1,52 | 161,2 | A |
| Caturra | 0,08 | 185,9 | A | 1,87 | 157,4 | A | 0,80 | 149,8 | A |
| Colombia | 0,09 | 203,6 | A | 2,35 | 137,1 | A | 0,96 | 164,1 | A |
| Maragogipe | 0,01 | 200,0 | A | 1,19 | 105,5 | A | 0,89 | 115,6 | A |
| Tabi | 0,18 | 282,1 | A | 1,12 | 142,7 | A | 0,89 | 218,7 | A |
| Típica | 0,04 | 173,2 | A | 0,17 | 110,3 | A | 0,36 | 26,9 | A |
| Rango de altitud (m) | | | | | | | | | |
| <1.300 | 0,07 | 295,1 | A | 3,78 | 116,3 | A | 1,15 | 195,4 | A |
| >1.600 | 0,09 | 180,8 | A | 0,67 | 144,8 | C | 0,84 | 111,4 | B |
| 1.300 a 1.600 | 0,09 | 207,7 | A | 2,29 | 118,3 | B | 0,80 | 152,1 | B |
| Unidad de suelo | | | | | | | | | |
| Campoalegre | 0,12 | 203,6 | A | 1,35 | 152,4 | DE | 0,90 | 142,4 | BCD |
| Chinchiná | 0,07 | 147,4 | A | 3,35 | 108,6 | BC | 0,93 | 111,8 | BCD |
| La Espiga | 0,03 | 329,4 | A | 0,94 | 138,0 | DE | 0,38 | 139,3 | CD |
| La Montaña | 0,14 | 254,4 | A | 1,48 | 134,8 | DE | 1,37 | 236,9 | ABCD |
| Líbano | 0,07 | 172,1 | A | 2,23 | 112,4 | CD | 1,43 | 195,8 | ABC |
| Malabar | 0,01 | 200,0 | A | 8,27 | 92,3 | A | 1,00 | 31,1 | BCD |
| Montenegro | 0,04 | 187,1 | A | 4,87 | 96,5 | B | 0,57 | 108,5 | BCD |
| Parnaso-200 | 0,06 | 167,2 | A | 1,09 | 133,5 | DE | 1,29 | 106,7 | ABCD |
| Paujil | 0,07 | 218,3 | A | 0,93 | 223,6 | DE | 0,93 | 206,7 | BCD |
| Perijá | 0,04 | 204,2 | A | 0,12 | 135,1 | E | 0,31 | 117,9 | D |
| Quindío | 0,06 | 168,0 | A | 3,43 | 78,9 | BC | 0,54 | 109,6 | BCD |
| Salgar | 0,08 | 150,6 | A | 0,89 | 75,0 | DE | 1,57 | 133,8 | AB |
| San Simón | 0,10 | 229,1 | A | 1,09 | 160,6 | DE | 0,73 | 90,5 | BCD |
| Siberia | 0,14 | 130,7 | A | 0,97 | 122,1 | DE | 0,90 | 94,8 | BCD |
| Suroeste | 0,07 | 165,3 | A | 1,49 | 125,0 | DE | 2,14 | 123,6 | A |
| Material parental | | | | | | | | | |
| Ceniza Volcánica | 0,06 | 169,0 | B | 3,94 | 103,1 | A | 0,77 | 148,2 | BC |
| Ígneo-volcánica | 0,11 | 254,4 | A | 1,01 | 134,8 | B | 1,03 | 236,9 | A |
| Ígneo extrusivo | 0,10 | 144,4 | AB | 1,13 | 126,4 | B | 0,73 | 103,6 | ABC |

Continúa...

...continuación

| Factor | Negro % | | | Brocado % | | | Vinagre % | | |
|------------------------------|----------|-------|-----|-----------|-------|-----|-----------|-------|-----|
| | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif |
| Material parental | | | | | | | | | |
| Ígneo Intrusivo | 0,14 | 229,9 | AB | 1,48 | 157,4 | B | 1,37 | 113,1 | C |
| Metamórfico | 0,07 | 188,9 | AB | 0,91 | 183,6 | B | 1,17 | 169,3 | ABC |
| Sedimentario | 0,06 | 179,6 | B | 0,88 | 174,8 | B | 1,33 | 163,2 | AB |
| Procedencia agua | | | | | | | | | |
| Acueducto | 0,08 | 193,7 | A | 2,50 | 126,5 | B | 0,70 | 113,4 | A |
| Nacimiento | 0,08 | 225,3 | A | 1,98 | 166,5 | A | 1,05 | 169,9 | B |
| Cosecha | | | | | | | | | |
| Cosecha 1 | 0,07 | 178,8 | | 1,53 | 135,7 | | 0,89 | 178,4 | |
| Cosecha 2 | 0,11 | 227,3 | | 2,88 | 137,0 | | 0,93 | 137,1 | |
| Práctica de beneficio | | | | | | | | | |
| BPM | 0,03 | 231,6 | B | 1,75 | 165,7 | B | 0,65 | 143,6 | B |
| Proceso Finca | 0,15 | 163,0 | A | 2,48 | 128,6 | A | 1,18 | 156,9 | A |
| Tipo de beneficio | | | | | | | | | |
| Fermentación Natural | 0,12 | 245,5 | B | 3,47 | 164,6 | B | 1,16 | 151,2 | B |
| Becolsub | 0,08 | 134,1 | A | 1,74 | 98,0 | A | 0,83 | 177,3 | A |
| Secado | | | | | | | | | |
| Mecánico | 0,15 | 137,7 | A | 3,41 | 113,7 | A | 1,55 | 162,4 | A |
| Solar | 0,08 | 240,3 | B | 1,86 | 152,4 | B | 0,78 | 146,6 | B |

Dif: Letras distintas indican diferencias significativas por cada factor (Duncan al 5%)

se registraron en muestras provenientes de altitudes menores a 1.300 m (1,69%) y entre 1.300 y 1.600 m (1,20%). Así mismo, se encontró un mayor porcentaje de granos decolorados en el café procesado según el método de la finca (1,6%) comparado con el BPM (1,0%); también fue mayor el porcentaje de granos decolorados en el café secado mecánicamente (2,28%) comparado con el café secado al sol, que presentó valores de 1,11% en promedio (Tabla 7). La principal causa de los granos decolorados se atribuye al sobre-secado en secadores mecánicos y por las mezclas de cafés en tanques de fermentación de durante varios días para ambos tipos de beneficio.

Granos mordidos. El porcentaje de grano de café mordido fue similar en las fincas de

Antioquia Caldas, Santander y Tolima con 1,8% en promedio, y fue más bajo en Huila, Cesar y Quindío. Este defecto también fue superior en las muestras de proceso finca y secadas en secadores mecánicos (Tabla 7).

Correlación de las características físicas del grano de café.

Se encontró que existen correlaciones entre las características físicas de la calidad del café. Estas correlaciones fueron positivas y muy altas entre la humedad del grano de café pergamino y la humedad del grano en almendra (0,90) y entre el total de defectos con el factor de rendimiento en trilla (0,97). Así mismo, se encontraron correlaciones negativas muy altas, entre el factor de rendimiento en trilla con la cantidad de almendra sana total (-0,97) y con la almendra sana en compra (-0,99),

Tabla 7. Promedios de los defectos decolorado, mordido y total en el grano almendra, según los factores de estudio.

| Factor | Decolorado % | | | Mordido % | | | Total defectos % | | | |
|-----------------------------|--------------|----------|------|-----------|----------|------|------------------|----------|------|-----|
| | Departamento | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif |
| Antioquia | 1,86 | 155,9 | A | 1,66 | 82,6 | A | 8,86 | 72,0 | BC | |
| Caldas | 1,41 | 134,5 | A | 1,76 | 68,7 | A | 11,46 | 47,6 | A | |
| Cesar | 1,57 | 221,2 | A | 0,85 | 130,0 | B | 6,13 | 128,4 | D | |
| Huila | 1,12 | 227,7 | A | 1,18 | 88,4 | B | 7,29 | 63,3 | DC | |
| Quindío | 0,90 | 236,0 | A | 0,96 | 72,8 | B | 9,99 | 57,3 | AB | |
| Santander | 0,86 | 193,2 | A | 1,80 | 140,6 | A | 6,53 | 114,1 | DC | |
| Tolima | 1,52 | 254,5 | A | 1,83 | 63,3 | A | 10,12 | 69,1 | AB | |
| Variedad | | | | | | | | | | |
| Catimor | 1,69 | 61,6 | A | 1,59 | 50,2 | A | 8,08 | 37,7 | A | |
| Caturra | 1,15 | 234,1 | A | 1,36 | 96,1 | A | 8,44 | 73,6 | A | |
| Colombia | 1,40 | 203,0 | A | 1,25 | 87,3 | A | 8,75 | 68,9 | A | |
| Maragogipe | 1,57 | 55,5 | A | 1,89 | 51,0 | A | 7,52 | 24,5 | A | |
| Tabi | 0,64 | 161,1 | A | 0,90 | 126,0 | A | 4,69 | 92,2 | A | |
| Típica | 0,94 | 59,3 | A | 0,80 | 78,1 | A | 2,97 | 17,3 | A | |
| Rango de altitud (m) | | | | | | | | | | |
| <1.300 | 1,69 | 220,2 | A | 1,15 | 96,8 | B | 10,70 | 77,7 | A | |
| >1.600 | 1,09 | 197,4 | B | 1,24 | 77,1 | AB | 6,89 | 59,0 | C | |
| 1.300 a 1.600 | 1,20 | 203,3 | AB | 1,41 | 96,8 | A | 8,47 | 64,8 | B | |
| Unidad de suelo | | | | | | | | | | |
| Campoalegre | 0,97 | 224,5 | CDE | 1,72 | 79,0 | AB | 8,93 | 64,0 | BCD | |
| Chinchiná | 1,35 | 133,8 | BCDE | 1,87 | 75,0 | A | 10,07 | 49,6 | BCD | |
| La Espiga | 0,31 | 195,2 | E | 0,96 | 58,1 | BCD | 7,21 | 59,5 | CDE | |
| La Montaña | 1,97 | 199,0 | BCDE | 0,91 | 128,2 | BCD | 7,14 | 123,2 | CDE | |
| Líbano | 2,51 | 240,6 | BCD | 1,82 | 81,9 | A | 11,28 | 86,5 | BC | |
| Malabar | 5,08 | 103,5 | A | 0,92 | 43,0 | BCD | 19,10 | 43,3 | A | |
| Montenegro | 0,63 | 217,5 | DE | 0,85 | 76,5 | CD | 9,92 | 56,2 | BCD | |
| Parnaso-200 | 1,30 | 145,3 | BCDE | 1,32 | 88,8 | ABCD | 7,65 | 76,7 | BCD | |
| Paujil | 0,86 | 193,2 | DE | 1,80 | 140,6 | A | 6,53 | 114,1 | DE | |
| Perijá | 0,37 | 127,3 | E | 0,66 | 133,7 | D | 3,14 | 72,8 | E | |
| Quindío | 1,07 | 244,0 | CDE | 1,23 | 63,3 | ABCD | 9,15 | 54,8 | BCD | |
| Salgar | 2,88 | 133,9 | BC | 1,53 | 61,6 | ABC | 9,79 | 68,5 | BCD | |
| San Simón | 1,13 | 254,9 | CDE | 1,20 | 76,3 | ABCD | 7,99 | 57,9 | BCD | |
| Siberia | 1,32 | 136,2 | BCDE | 1,19 | 95,6 | ABCD | 5,88 | 62,4 | DE | |
| Suroeste | 3,15 | 140,6 | B | 1,76 | 76,1 | AB | 11,75 | 78,8 | B | |
| Material parental | | | | | | | | | | |
| Ceniza Volcánica | 1,20 | 221,3 | A | 1,34 | 85,5 | AB | 10,13 | 58,6 | A | |
| Ígneo-volcánica | 1,32 | 199,0 | A | 1,24 | 128,2 | B | 6,49 | 123,2 | B | |
| Ígneo extrusivo | 1,02 | 138,6 | A | 1,29 | 92,8 | AB | 8,12 | 70,8 | B | |

Continúa...

...continuación

| Factor | Decolorado % | | | Mordido % | | | Total defectos % | | |
|------------------------------|--------------|-------|-----|-----------|-------|-----|------------------|-------|-----|
| | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif | Promedio | C.V. | Dif |
| Material parental | | | | | | | | | |
| Ígneo Intrusivo | 1,97 | 256,3 | A | 0,91 | 79,6 | AB | 7,14 | 59,7 | AB |
| Metamórfico | 1,61 | 173,9 | A | 1,70 | 121,7 | A | 7,74 | 93,5 | B |
| Sedimentario | 1,92 | 186,3 | A | 1,27 | 100,0 | AB | 7,93 | 103,8 | AB |
| Procedencia agua | | | | | | | | | |
| Acueducto | 0,99 | 230,7 | A | 1,21 | 90,0 | A | 8,47 | 60,5 | A |
| Nacimiento | 1,48 | 194,6 | B | 1,30 | 93,7 | A | 8,63 | 77,2 | A |
| Cosecha | | | | | | | | | |
| Cosecha 1 | 1,30 | 252,1 | | 1,31 | 86,5 | | 8,44 | 75,8 | |
| Cosecha 2 | 1,28 | 139,8 | | 1,30 | 96,2 | | 8,57 | 66,1 | |
| Práctica de beneficio | | | | | | | | | |
| BPM | 1,01 | 234,8 | B | 1,01 | 95,8 | B | 6,95 | 75,9 | B |
| Proceso Finca | 1,59 | 191,2 | A | 1,61 | 81,5 | A | 10,21 | 62,8 | A |
| Tipo de beneficio | | | | | | | | | |
| Fermentación Natural | 1,34 | 219,1 | A | 1,41 | 96,5 | A | 10,81 | 74,5 | B |
| Becolsub | 1,26 | 187,6 | A | 1,26 | 73,0 | A | 7,86 | 57,6 | A |
| Secado | | | | | | | | | |
| Mecánico | 2,28 | 161,2 | A | 1,67 | 64,8 | A | 12,94 | 57,7 | A |
| Solar | 1,11 | 223,9 | B | 1,22 | 96,8 | B | 7,69 | 70,5 | B |

Dif: Letras distintas indican diferencias significativas por cada factor (Duncan al 5%)

que significa que a mayor valor del factor de rendimiento en trilla del café, menor cantidad de almendra sana. Entre todas las variables físicas y la almendra sana total y en compra las correlaciones fueron negativas (Tabla 8).

También se observaron otras correlaciones positivas moderadas, entre la cantidad de grano mordido con la cantidad de pelado de cerca de 0,5, y de 0,6 entre el decolorado y el brocado con el rendimiento en trilla y con el total de defectos (Tabla 8). Las relaciones lineales entre las humedades del grano, el rendimiento en trilla y el total de defectos y entre el rendimiento en trilla y la cantidad de almendra sana en compra se observan en las Figuras 2, 3 y 4.

Por otro lado, las correlaciones entre los defectos del grano de café con el tamaño de los granos fueron muy bajas, estos valores se explican debido a que el análisis granulométrico se realizó a las muestras de café clasificadas, o sea, al total de almendra sana. Entre la merma y el tamaño malla 17 la correlación fue negativa moderada. Así, a mayor valor de la merma, menor cantidad de grano de café de tamaño 17/64. También se presentó correlación negativa alta entre la cantidad de grano de café de malla 17 con las cantidades retenidas en las mallas 16, 15 y 14 (Tabla 9).

Contrario a lo expresado por Duicela *et al.* (2) no se encontraron correlaciones entre el tamaño del grano con alguna de las características sensoriales del café como

Tabla 8. Coeficientes de correlación de Pearson entre las humedades, defectos y rendimientos del grano de café de las muestras de las fincas.

| Variables ¹ | Humedad pergamino | Humedad almendra | Guayaba | Pelado | Merma | Factor de rendimiento en trilla | Negro | Vinagre | Decolorado | Mordido | Brocado | Total defectos | Almendra sana total | Almendra sana en compra |
|---------------------------------|-------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|---------------------|-------------------------|
| Humedad pergamino | 1,00 | 0,90 | 0,08 | -0,01 | 0,12 | 0,16 | -0,01 | 0,05 | 0,26 | 0,00 | 0,13 | 0,14 | -0,14 | -0,16 |
| Humedad almendra | 0,90 | 1,00 | 0,10 | 0,02 | 0,06 | 0,15 | -0,03 | 0,06 | 0,29 | 0,03 | 0,07 | 0,14 | -0,14 | -0,14 |
| Guayaba | 0,08 | 0,10 | 1,00 | 0,20 | 0,00 | 0,25 | 0,39 | 0,30 | 0,19 | 0,17 | 0,07 | 0,26 | -0,26 | -0,24 |
| Pelado | -0,01 | 0,02 | 0,20 | 1,00 | 0,05 | 0,34 | 0,33 | 0,24 | 0,11 | 0,53 | 0,21 | 0,36 | -0,36 | -0,34 |
| Merma | 0,12 | 0,06 | 0,00 | 0,05 | 1,00 | 0,42 | 0,05 | 0,01 | 0,04 | 0,01 | 0,35 | 0,22 | -0,22 | -0,42 |
| Factor de rendimiento en trilla | 0,16 | 0,15 | 0,25 | 0,34 | 0,42 | 1,00 | 0,22 | 0,49 | 0,62 | 0,35 | 0,61 | 0,97 | -0,97 | -0,99 |
| Negro | -0,01 | -0,03 | 0,39 | 0,33 | 0,05 | 0,22 | 1,00 | 0,28 | 0,06 | 0,21 | 0,10 | 0,25 | -0,25 | -0,24 |
| Vinagre | 0,05 | 0,06 | 0,30 | 0,24 | 0,01 | 0,49 | 0,28 | 1,00 | 0,31 | 0,19 | 0,08 | 0,52 | -0,52 | -0,48 |
| Decolorado | 0,26 | 0,29 | 0,19 | 0,11 | 0,04 | 0,62 | 0,06 | 0,31 | 1,00 | 0,09 | 0,08 | 0,62 | -0,62 | -0,59 |
| Mordido | 0,00 | 0,03 | 0,17 | 0,53 | 0,01 | 0,35 | 0,21 | 0,19 | 0,09 | 1,00 | 0,11 | 0,40 | -0,40 | -0,38 |
| Brocado | 0,13 | 0,07 | 0,07 | 0,21 | 0,35 | 0,61 | 0,10 | 0,08 | 0,08 | 0,11 | 1,00 | 0,60 | -0,60 | -0,63 |
| Total defectos | 0,14 | 0,14 | 0,26 | 0,36 | 0,22 | 0,97 | 0,25 | 0,52 | 0,62 | 0,40 | 0,60 | 1,00 | -1,00 | -0,98 |
| Almendra sana total | -0,14 | -0,14 | -0,26 | -0,36 | -0,22 | -0,97 | -0,25 | -0,52 | -0,62 | -0,40 | -0,60 | -1,00 | 1,00 | 0,98 |
| Almendra sana en compra | -0,16 | -0,14 | -0,24 | -0,34 | -0,42 | -0,99 | -0,24 | -0,48 | -0,59 | -0,38 | -0,63 | -0,98 | 0,98 | 1,00 |

¹Valores en negrilla son significativos al nivel del 5% (Pearson).

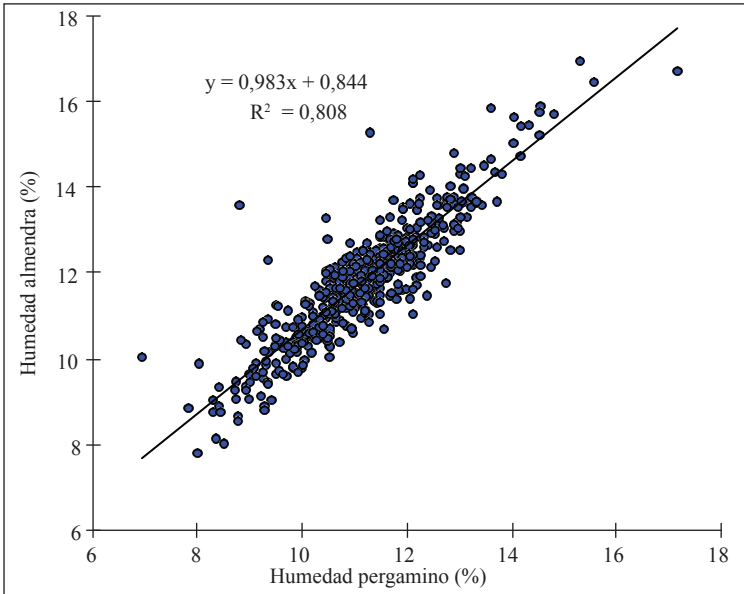


Figura 2. Relación entre las humedades del grano pergamino y almendra de las muestras de café de las fincas.

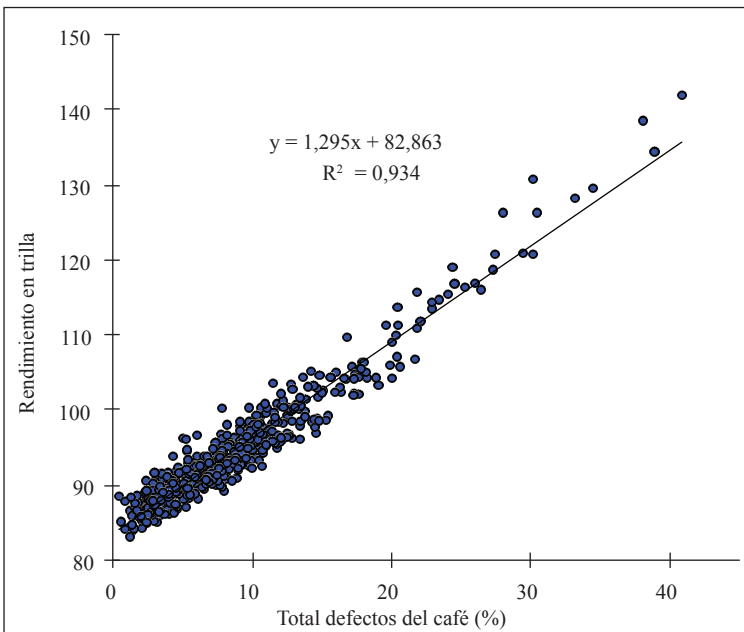


Figura 3. Relación entre el total de defectos del café y el factor de rendimiento en trilla de las muestras de las fincas.

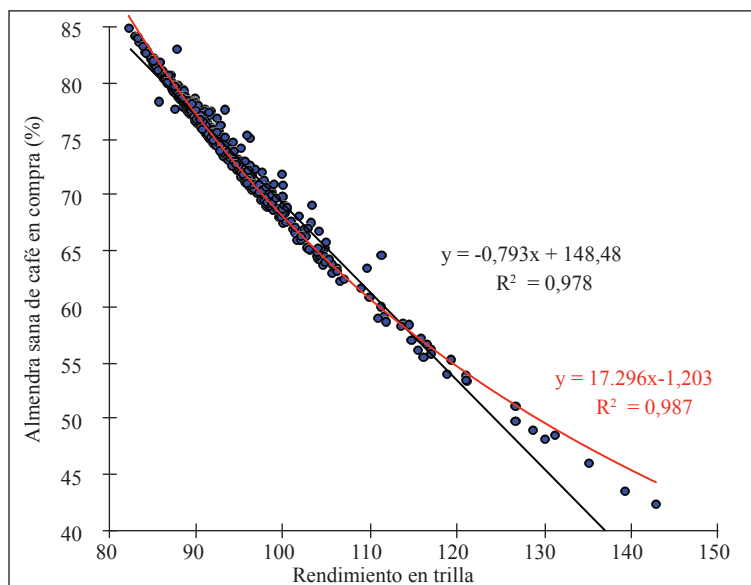


Figura 4. Relaciones entre el factor de rendimiento en trilla y el porcentaje de almendra sana de café en compra en las muestras de las fincas.

Tabla 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características físicas y el tamaño del grano de café de las muestras de las fincas.

| Variables ¹ | Malla 17 | Malla 16 | Malla 15 | Malla 14 |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Humedad pergamino | 0,03 | -0,08 | 0,00 | 0,05 |
| Humedad almendra | 0,05 | -0,08 | -0,03 | 0,00 |
| Guayaba | -0,11 | 0,09 | 0,12 | 0,11 |
| Pelado | -0,08 | 0,03 | 0,12 | 0,13 |
| Merma | -0,47 | 0,33 | 0,51 | 0,57 |
| Rendimiento en trilla | -0,36 | 0,27 | 0,39 | 0,38 |
| Negro | -0,06 | 0,04 | 0,08 | 0,07 |
| Vinagre | -0,05 | 0,03 | 0,07 | 0,04 |
| Decolorado | -0,05 | 0,03 | 0,06 | 0,05 |
| Mordido | -0,02 | -0,02 | 0,07 | 0,03 |
| Brocado | -0,19 | 0,10 | 0,24 | 0,28 |
| Total defectos | -0,24 | 0,20 | 0,27 | 0,24 |
| Almendra sana/almendra total | 0,24 | -0,20 | -0,27 | -0,24 |
| Almendra sana en compra | 0,33 | -0,25 | -0,36 | -0,34 |
| Malla 17 | 1,00 | -0,94 | -0,90 | -0,84 |
| Malla 16 | -0,94 | 1,00 | 0,74 | 0,64 |
| Malla 15 | -0,90 | 0,74 | 1,00 | 0,85 |
| Malla 14 | -0,84 | 0,64 | 0,85 | 1,00 |

¹Valores en negrilla son significativos al nivel del 5% (Pearson).

Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características físicas y las características sensoriales del café de las muestras de las fincas.

| VARIABLES¹ | Iaroma | Aroma | Acidez | Amargo | Cuerpo | Dulzor | Iglobal |
|-------------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| Humedad pergamino | -0,07 | -0,03 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,02 |
| Humedad almendra | -0,08 | -0,04 | -0,04 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 |
| Guayaba | -0,10 | -0,08 | -0,08 | -0,06 | -0,08 | -0,07 | -0,08 |
| Pelado | -0,11 | -0,14 | -0,16 | -0,11 | -0,14 | -0,13 | -0,15 |
| Merma | -0,12 | -0,12 | -0,08 | -0,04 | -0,07 | -0,07 | -0,08 |
| Rendimiento en trilla | -0,20 | -0,21 | -0,24 | -0,20 | -0,24 | -0,23 | -0,24 |
| Negro | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,08 | -0,06 | -0,08 |
| Vinagre | -0,14 | -0,16 | -0,16 | -0,14 | -0,16 | -0,16 | -0,16 |
| Decolorado | -0,23 | -0,19 | -0,20 | -0,18 | -0,20 | -0,19 | -0,20 |
| Mordido | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,08 | -0,09 | -0,08 | -0,09 |
| Brocado | 0,00 | -0,05 | -0,08 | -0,05 | -0,07 | -0,08 | -0,08 |
| Total defectos | -0,19 | -0,20 | -0,25 | -0,21 | -0,24 | -0,24 | -0,24 |
| Almendra sana/ almendra total | 0,19 | 0,20 | 0,25 | 0,21 | 0,24 | 0,24 | 0,24 |
| Almendra sana en compra | 0,20 | 0,21 | 0,25 | 0,21 | 0,24 | 0,23 | 0,24 |
| Malla 17 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| Malla 16 | 0,03 | 0,06 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Malla 15 | -0,05 | -0,02 | -0,04 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 |
| Malla 14 | -0,09 | -0,10 | -0,09 | -0,05 | -0,08 | -0,08 | -0,09 |
| Iaroma | 1,00 | 0,83 | 0,74 | 0,68 | 0,71 | 0,72 | 0,72 |
| Aroma | 0,83 | 1,00 | 0,84 | 0,80 | 0,83 | 0,82 | 0,84 |
| Acidez | 0,74 | 0,84 | 1,00 | 0,93 | 0,97 | 0,95 | 0,97 |
| Amargo | 0,68 | 0,80 | 0,93 | 1,00 | 0,96 | 0,93 | 0,96 |
| Cuerpo | 0,71 | 0,83 | 0,97 | 0,96 | 1,00 | 0,98 | 1,00 |
| Dulzor | 0,72 | 0,82 | 0,95 | 0,93 | 0,98 | 1,00 | 0,98 |
| Iglobal | 0,72 | 0,84 | 0,97 | 0,96 | 1,00 | 0,98 | 1,00 |

¹Valores en negrilla son significativos al nivel del 5% (Pearson).

son: intensidad del aroma (IAROMA), aroma de la bebida aroma, acidez, amargo, cuerpo, dulzor, ni impresión global (IGLOBAL). Por el contrario, entre estas características sensoriales del café las correlaciones fueron positivas y altas (Tabla 10). Se aclara que la evaluación sensorial se realizó a las muestras clasificadas, es decir, se tostaron solo granos

sanos físicamente (26). Se observó una correlación positiva entre la almendra sana y la calidad en taza.

Tamaño del grano de café almendra. La variedad Maragogipe presentó el grano de mayor tamaño, seguida de Tabi, Típica, Colombia, Caturra y Catimor (Figuras 5 y

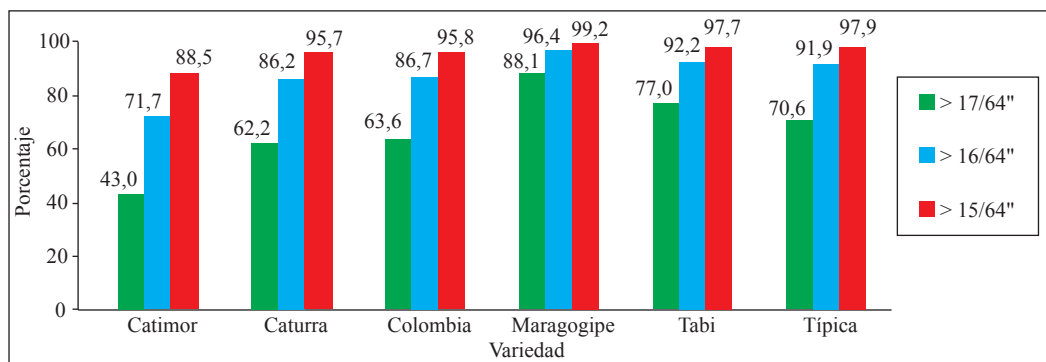


Figura 5. Tamaño del grano de café de variedades de café de las muestras de las fincas.

6). Se presentaron diferencias significativas entre el porcentaje de grano sobre malla 17, 16, 15, y 14 para la variedad Tabi con respecto a Caturra y Colombia.

Por departamentos, Cesar, Santander y Antioquia presentaron el tamaño de grano de café más grande, con porcentajes de grano por encima de la malla 14 de 90%, 87,7% y 87,7%, respectivamente, estos valores resultaron diferentes del café del Quindío 85,3% y Caldas 84,1%. Estas diferencias se deben a los mayores tamaños de las variedades Maragogipe en Antioquia y Tabi y Típica del Cesar y Santander. Las mismas diferencias se encontraron en la suma de los granos de tamaño 17, 16 y 15. La variedad Tabi de las unidades La Montaña y Perijá presentó los mayores porcentajes de grano, por encima de malla 17, con valores cercanos al 80,0%. La genética de la variedad tuvo más influencia en el tamaño del grano que la altitud y el origen geográfico.

En contraste, el café Caturra de Guatemala presentó 81,2% de grano de tamaño por encima de la malla 17, para cultivos por encima de 1.460 m, que son valores mayores a los encontrados para la misma variedad en Colombia, y el Borbón presentó 85,7% de grano de tamaño 17 y 18, para el rango de

altitud superior a los 1.460 (4). Así mismo, muestras de Catimor en Ecuador presentaron 65,2% de grano por encima de la malla 17, en Caturra el valor fue de 60,1% y para Típica de 64,7% (2), valores que son diferentes a los encontrados para las variedades de café en Colombia. El promedio de los valores del tamaño del grano por rango de altitud se observa en la Tabla 11.

Descripción de la calidad de la bebida de café según las características físicas del grano. Se demostró que la calidad de la bebida de café está influenciada por las características físicas del grano, la humedad y los defectos. La calidad del café se deteriora aunque estos defectos se retiren del producto final antes de tostarlo. Por consiguiente, se reitera la recomendación de aplicar las buenas prácticas agrícolas y de manufactura haciendo énfasis en la separación de las impurezas y los granos defectuosos en cada etapa del beneficio y procesamiento del café.

Se observó que la bebida del café de las fincas con defecto reposo estuvo asociada a granos que presentaron humedades medias superiores a 12%(Figura 7), granos decolorados cercanos al 3,0% y guayabas del 1,5% (Figura 8 y 9). Los sabores terrosos se asociaron a café que se procesó con granos guayaba y

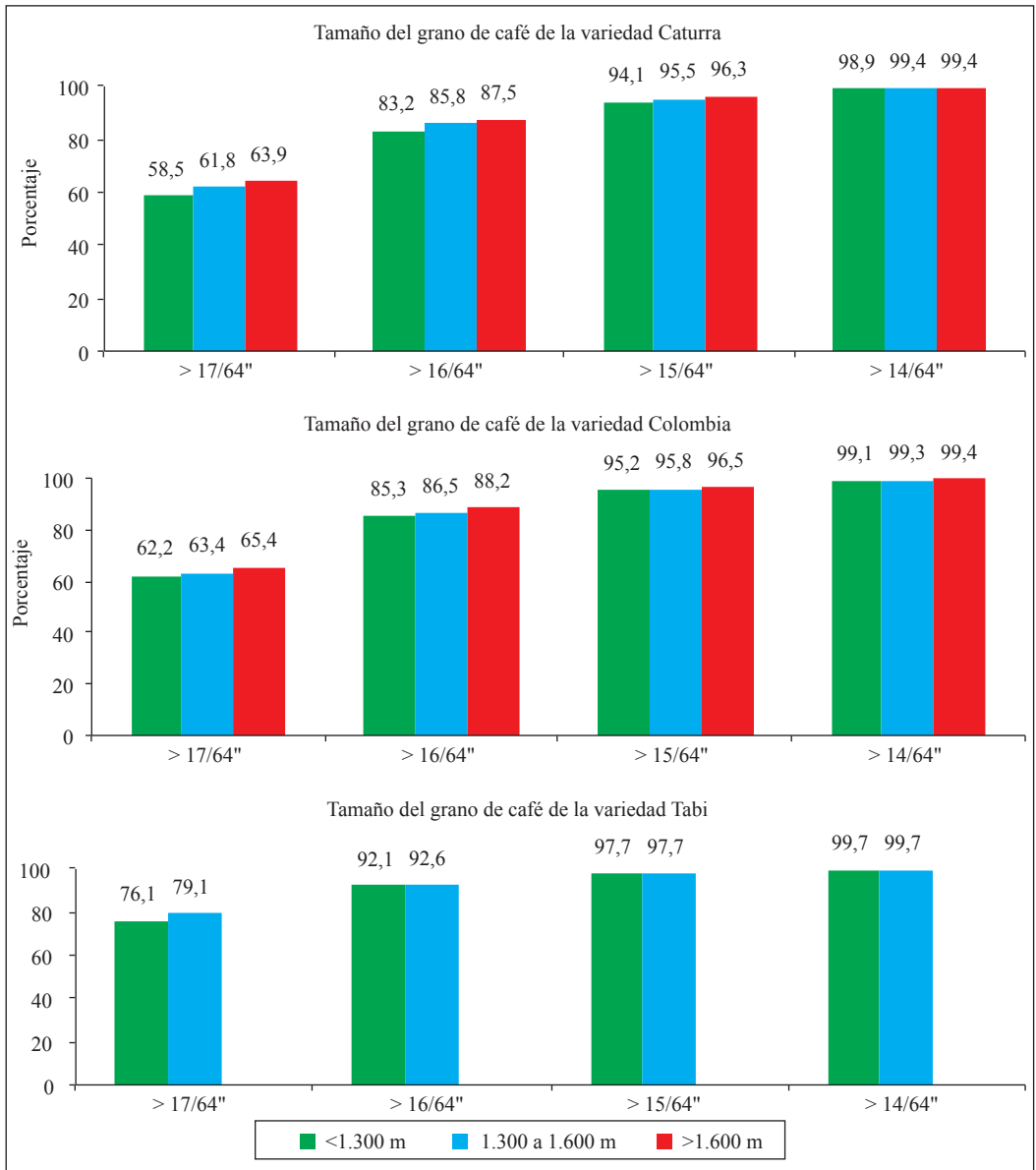


Figura 6. Tamaño del grano de café de variedades Caturra, Colombia y Tabi, según el rango de altitud.

pelados del 1% y brocados superiores al 2,0% en promedio; los sabores leñosos, sucios y ásperos a café se relacionaron con defectos pelados mayores al 1,0% y brocados mayores al 3,5%. Los sabores vinagres se asociaron

a café procesado con defectos en promedio de 1,5% de grano pelado, 2,0% de brocado, 2,0% de grano decolorado, 1,5% de vinagre y 1,5% de mordido. El sabor contaminado se relacionó con el defecto brocado por encima

Tabla 11. Tamaño del grano de café almendra según el rango de altitud.

| Rango de altitud | Tamaño del grano de café almendra en 64 de pulgadas | Promedio | C.V. % |
|-----------------------|---|----------|--------|
| Menor a 1.300 m | Sobre malla 17 | 63,6 | 22,4 |
| | Sobre malla 16 | 22,2 | 35,4 |
| | Sobre malla 15 | 9,5 | 44,6 |
| | Sobre malla 14 | 3,9 | 61,5 |
| Entre 1.300 y 1.600 m | Sobre malla 17 | 63,1 | 22,8 |
| | Sobre malla 16 | 23,3 | 34,6 |
| | Sobre malla 15 | 9,3 | 49,3 |
| | Sobre malla 14 | 3,6 | 68,5 |
| Mayor a 1.600 m | Sobre malla 17 | 64,1 | 22,7 |
| | Sobre malla 16 | 23,4 | 37,0 |
| | Sobre malla 15 | 8,7 | 50,8 |
| | Sobre malla 14 | 3,1 | 71,2 |
| Entre 1.050 y 2.050 m | Sobre malla 17 | 63,6 | 22,7 |
| | Sobre malla 16 | 23,1 | 35,6 |
| | Sobre malla 15 | 9,2 | 48,7 |
| | Sobre malla 14 | 3,5 | 67,9 |

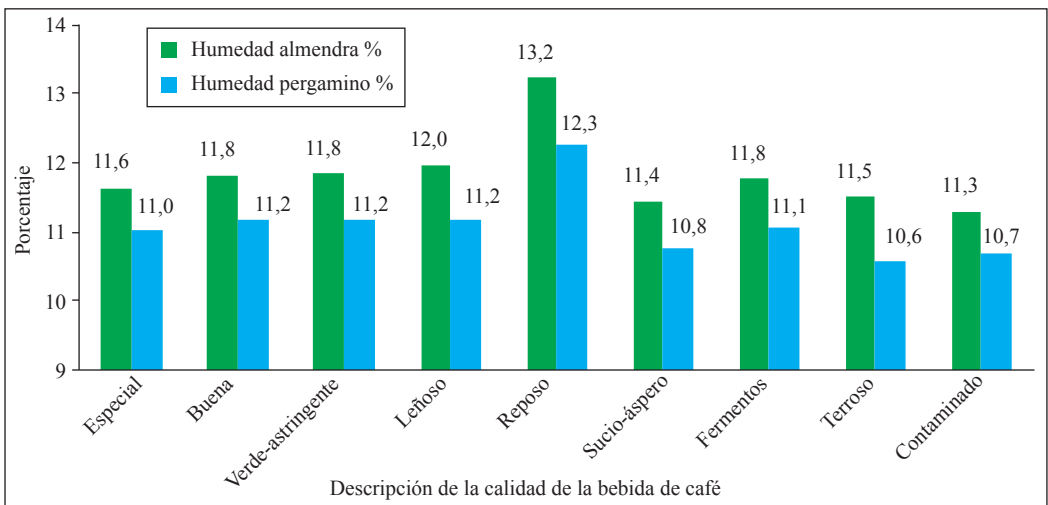


Figura 7. Humedades del grano de café de las muestras de las fincas en relación con la descripción de la calidad en taza.

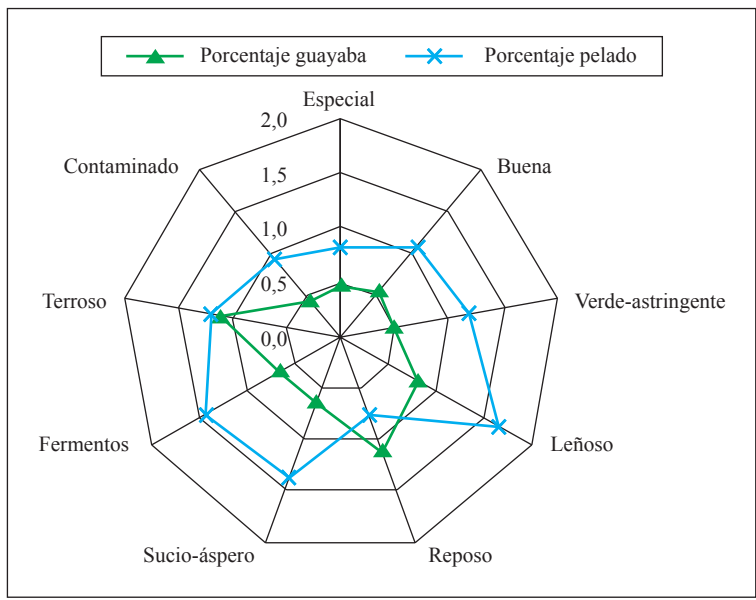


Figura 8. Descripción de la calidad del café en taza en relación con el promedio de los defectos del pergamino del grano de café de las muestras de las fincas.

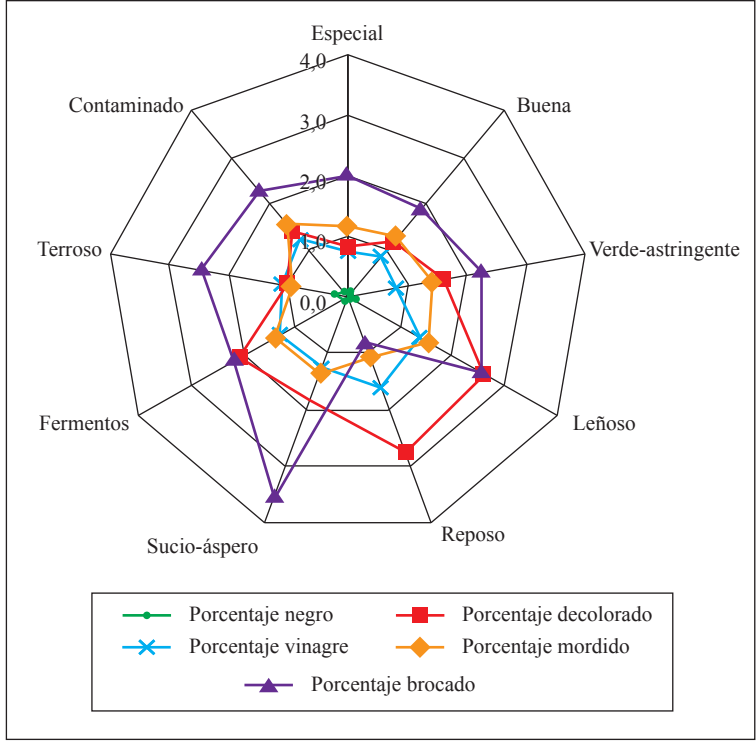


Figura 9. Descripción de la calidad del café en taza en relación con el porcentaje promedio de defectos del grano almendra de las muestras de café las fincas.

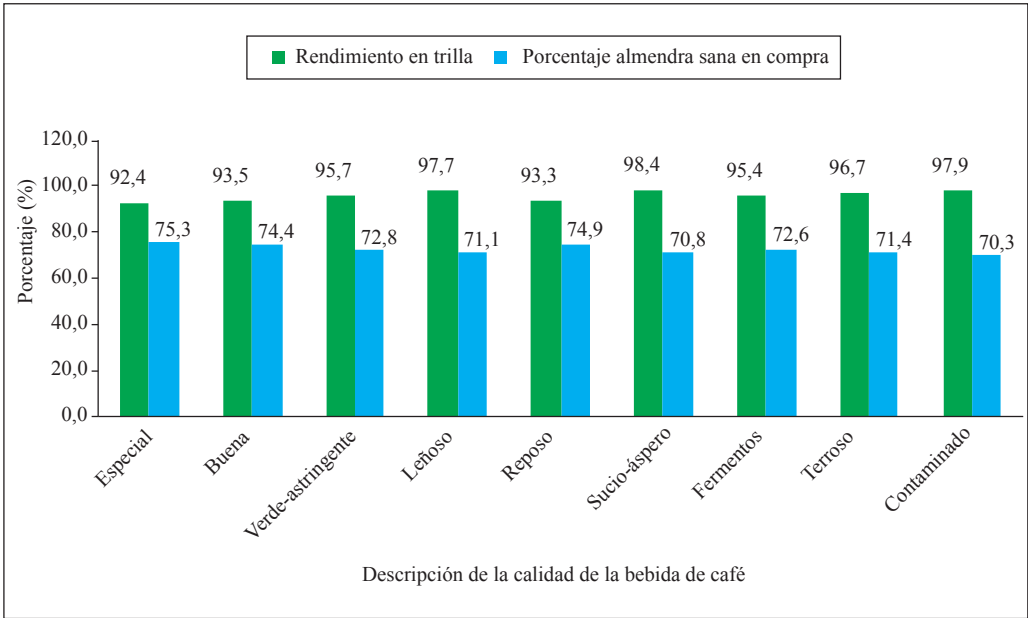


Figura 10. Promedios del rendimiento en trilla y el porcentaje de almendra sana en compra, de las muestras de café de las fincas en relación con la descripción de la calidad del café en taza.

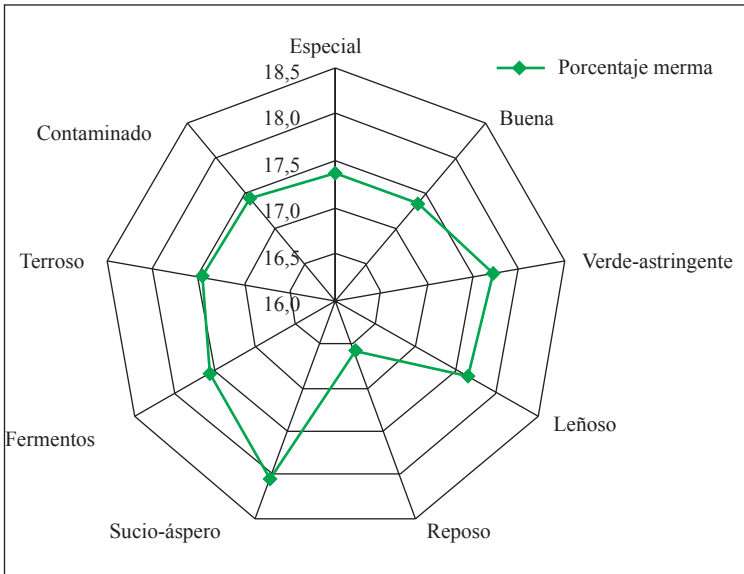


Figura 11. Descripción de la calidad del café en taza, según el porcentaje promedio de merma de las muestras de las fincas.

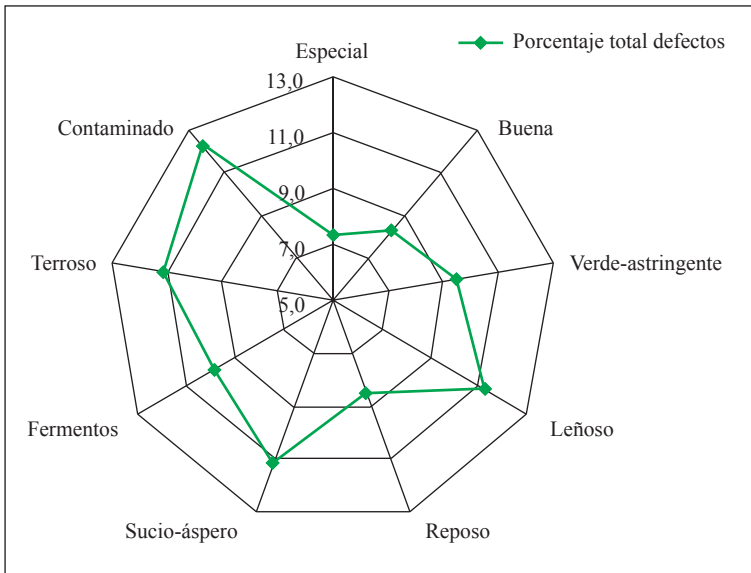


Figura 12. Descripción de la calidad del café en taza según el porcentaje total de defectos del grano almendra de las muestras de las fincas.

del 2,0% (Figuras 7, 8 y 9). Las bebidas con sabores a contaminado, terroso, fermento y sucio presentaron la mayor cantidad de defectos totales con valores superiores al 11% en promedio.

Por el contrario, los cafés que se calificaron como especiales y buenos presentaron en promedio 92,4 a 93,5 de factor de rendimiento en trilla, 75,3 a 74,4 de almendra sana en compra y 17,4% de merma (Figuras 10, 11 y 12), valores cercanos a los límites comerciales establecidos por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para la compra de cafés de calidad superior.

Puede concluirse que:

- Se registraron variaciones en maneras, tiempos, infraestructura y mezclas para efectuar el beneficio y el secado del café en las fincas visitadas, que evidenciaron fallas en el control de procesos y riesgos para la buena calidad del café, sobre todo en el secado, en la fermentación y en

el desmucilaginado mecánico, así como deficiencias tecnológicas en los equipos que se usaban para el beneficio del café.

- En las fincas muestreadas de todas las regiones se encontró café de buena y mala calidad.
- El daño por broca de la almendra del café influyó en un mayor porcentaje de defectos totales, un menor contenido de almendra sana, un mayor valor del rendimiento en trilla y se relacionó con los defectos leñosos, sucios, ásperos y contaminados de la bebida de café.
- En todos los departamentos se observaron desviaciones por sobresecado y por falta de secado del grano de café. En general, el café que se secó en secadores mecánicos se sobresecó, mientras que en el café que se secó al sol se registraron altos contenidos de humedad.
- Estos resultados demuestran que es necesario mejorar los métodos de control de la

humedad del grano de café en las fincas. Se recomienda establecer estrategias como capacitación de los caficultores y la disposición de medidores de humedad calibrados para el grano de café en las fincas o en lugares de las veredas cercanas, donde pueda brindarse este servicio a los caficultores.

- Los defectos del grano de café más frecuentes fueron el brocado, el vinagre y el decolorado. Las principales causas del grano vinagre se atribuyen a las fallas en las clasificaciones en el beneficio y a la falta de controles en la fermentación, desmucilaginado, lavado y secado; los granos decolorados se originaron por las mezclas de cafés despulpados y por dejar estos granos en agua por varios días, otras causas fueron el sobresecado y el secado incompleto.
- El contenido de granos guayaba fue mayor en el café procedente de zonas por debajo de 1.300 m, en muestras procesadas por el método de la finca y que se secaron mecánicamente. Aunque los granos guayabas se producen desde la etapa del cultivo, por diferentes factores climáticos y bióticos, su presencia en la muestra de café pergamino permite deducir que faltó realizar los controles y clasificaciones en el beneficio del café.
- Se evidenciaron diversas fallas en el beneficio y secado del café en las fincas y también riesgos de contaminación y deterioro del producto, principalmente en los procesos del secado, fermentación y desmucilaginado mecánico.
- El desmucilaginado mecánico, la fermentación, el lavado y el secado son procesos críticos para la calidad del café, que deben controlarse para evitar los daños

del grano y los defectos e inconsistencia en la bebida.

- La frecuente presencia de los defectos en el café denota que todavía hay carencias en los controles en los procesos del café. Es necesario que la broca se controle de forma eficaz, mejorar el equipamiento de beneficio y los sistemas de monitoreo en el beneficio, secado y almacenamiento del café.
- La genética de la variedad tuvo mayor influencia en el tamaño del grano que la altitud, los suelos y el origen geográfico. Las variedades con granos de mayor tamaño fueron Maragogipe y Típica.
- El grano de café pelado se presentó en mayor proporción en los procesos mecánicos de desmucilaginado y secado; es necesario evitar estos defectos para controlar riesgos de mohosos, decolorados, Ochratoxina A y otros sabores indeseables para la calidad del café (22).
- Las diferencias en los rendimientos de merma y factor en trilla del café de las muestras dependieron principalmente de la cantidad de defectos.
- Se demostró que la calidad de la bebida de café está influenciada por las características físicas del grano, la humedad y los defectos. La calidad del café se deteriora aunque estos defectos se retiren del producto al final antes de tostarlo, por consiguiente, es necesario aplicar las buenas prácticas de clasificación durante todo el proceso del café.

AGRADECIMIENTOS

A María Mercedes Botero Buitrago y Ana María Osorio Betancourt por su colaboración

en los análisis del grano y la digitación de los datos. Al Servicio de Extensión Rural de los departamentos de Antioquia, Quindío, Tolima y Huila, a la Cooperativa de Caficultores de Anserma y a los caficultores de los municipios participantes. A Álvaro Jaramillo Robledo y Flor Pulido por su ayuda en la localización de las fincas.

Esta investigación hizo parte de las actividades del proyecto QIN3010 Estudio de la calidad y la composición química del café, según los suelos y la altitud del cultivo que se desarrolló entre los años 2005 y 2012, se financió con recursos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, y contribuyó en la estrategia de calidad y cafés especiales de la Federación.

LITERATURA CITADA

- DÍAZ, A.M.; RIVERA G., J.M.; SÁNCHEZ A., O.D.; DÍAZ, A.M.; RIVERA G., J.M.; SÁNCHEZ A., O.D.; ARROYAVE C., A.M. Identificación de la calidad sensorial de cafés especiales en tres latitudes aplicando diferentes tiempos de fermentación natural con caficultores de los municipios de Supía, Riosucio, Caldas y Quinchía Risaralda. Investigaciones de Unisarc 8(1/2):32-40. 2010.
- DUICELA G., L.A.; CORRAL C., R.; FARFÁN T., D.S.; CEDEÑO G., L.; PALMA P., R.; SÁNCHEZ O., J.; VILLACIS, J.C. Caracterización física y organoléptica de cafés Arábicos en los principales agroecosistemas del Ecuador. Manta : Consejo cafetalero nacional, 2003. 248 p.
- FAJARDO P., I.F.; SANZ U., J.R. La calidad física y el rendimiento del café en los procesos de beneficio tradicional y beneficio ecológico (Becolsub). Chinchiná : Cenicafé, 2004. 8 p. (Avances Técnicos No. 323)
- FIGUEROA S., P.; JIMÉNEZ G., O.H.; LOPEZ DE L., E.E.; ANZUETOR., F. Influencia de la variedad y la altitud en las características organolépticas y físicas del café. Boletín de Promecafé 94:18-21. 2002.
- Federación Nacional de Cafeteros - FNC. Compra de café por factor de rendimiento. Ibagué : Comité de cafeteros del Tolima, 2001. 11 p.
- Federación Nacional de Cafeteros - FNC. La calidad del café va en su beneficio: Identifique los defectos del café. Bogotá : FNC : ALMACAFÉ, 2006. 16 p.
- Federación Nacional de Cafeteros - FNC. Nuestras regiones cafeteras. [En línea]. Bogotá : La Federación, [s.f.]. Disponible en internet: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/la_tierra_del_cafe/regiones_cafeteras/ Consultado en junio de 2015.
- Federación Nacional de Cafeteros - FNC. Resolución número 5 de 2002. [En línea]. Bogotá : La Federación, 2002. Disponible en internet: [http://www.cafedecolombia.com/static/files/Resolucion%205%20de%202002%20\(Calidades%20Exportacion\).pdf](http://www.cafedecolombia.com/static/files/Resolucion%205%20de%202002%20(Calidades%20Exportacion).pdf). Consultado en abril de 2013
- Federación Nacional de Cafeteros - FNC. Tabla de precio interno de referencia para la compra de café pergamino seco por carga de 125 kg. [En línea]. Bogotá : La Federación, 2015. Disponible en internet: https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/precio_cafee.pdf. Consultado en agosto de 2015.
- HERRÓN O., A. Diagnóstico de la taza de café colombiano. Chinchiná : Cenicafé, 2001. 1 p.
- JARAMILLO R., A. Clima andino y el café en Colombia. Chinchiná : Cenicafé, 2005. 192 p.
- MONTILLA P., J.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M.; MONTOYA R., E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENA G., G. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. Cenicafé 59(2):120-142. 2008.
- OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; JURADO C., J.M: Controle la humedad del café en el secado solar utilizando el método gravimet. Chinchiná : Cenicafé, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 387).
- OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; PABÓN U., J.P. Gravimet SM: Tecnología para medir la humedad del café en el secado en silos. Chinchiná : Cenicafé, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 433).
- PUERTA Q., G.I. Buenas prácticas agrícolas para el café. Chinchiná : Cenicafé, 2006. 12 p. (Avances Técnicos No. 349)
- PUERTA Q., G.I. Calidad del café. p. 81-110. En: Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología

- para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná : FNC : CENICAFE, 2013. 3 vols.
17. PUERTA Q., G.I. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 51(1):5-19. 2000.
 18. PUERTA Q., G.I. Calidad en taza de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *Cenicafé* 49(4):65-78. 1998.
 19. PUERTA Q., G.I. Cómo garantizar la buena calidad de la bebida del café y evitar los defectos. Chinchiná : *Cenicafé*, 2001. 8 p. (Avances Técnicos No. 284).
 20. PUERTA Q., G.I. Especificaciones de origen y buena calidad del café de Colombia. Chinchiná : *Cenicafé*, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 316).
 21. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Chinchiná : *Cenicafé*, 2006. 8 p. (Avances técnicos No. 352).
 22. PUERTA Q., G.I. Prevenga la ochratoxina A y mantenga la inocuidad y la calidad del café. Chinchiná : *Cenicafé*, 2003. 8 p. (Avances Técnicos No. 317).
 23. PUERTA Q., G.I. Registro de la trazabilidad del café en la finca. Chinchiná : *Cenicafé*, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 355).
 24. PUERTA Q., G.I. Rendimientos y calidad de *Coffea arabica* L. según el desarrollo del fruto y la remoción del mucílago. *Cenicafé* 61(1):67-89. 2010.
 25. PUERTA Q., G.I. Riesgos para la calidad y la inocuidad del café en el secado. Chinchiná : *Cenicafé*, 2008. 8 p. (Avances Técnicos No. 371).
 26. PUERTA Q., G.I.; GONZÁLEZ R., F.O.; CORREA P., A.; ÁLVAREZ L., I.E.; ARDILA C., J.A.; GIRÓN O., O.S.; RAMÍREZ Q., C.J.; BAUTE B., J.E.; SÁNCHEZ A., P.M.; SANTAMARÍA B., M.D.; MONTOYA, D.F. Diagnóstico de la calidad de la bebida de café producido en fincas de varias regiones de Colombia. Chinchiná : *Cenicafé*, 2016. (En prensa)
 27. SALAZAR C., E.I.; MUSCHLER, R.G.; VERA S., J.; JIMÉNEZ F., T. Calidad de *Coffea arabica* bajo sombra de *Erythrina poeppigiana* a diferentes elevaciones en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 7(26):40-42. 2000.
 28. SILVA, R.F. DA; PEREIRAR., G.F.A.; BOREM, F.M.; SILVA, V.A. DA. Altitude e a qualidade do café cereja descascado. *Revista brasileira de armazenamento* 9:40-47. 2006.
 29. ZAMBRANO F., D.A. Fermente y lave su café en el tanque tina. Chinchiná : *Cenicafé*, 1993. 8 p. (Avances Técnicos No. 197).

COMPORTAMIENTO DE ACCESIONES DE *Coffea arabica* SOMETIDAS A DÉFICIT DE HUMEDAD DEL SUELO

Diana María Molina Vinasco*, Víctor Hugo Ramírez Builes**, Hernando Alfonso Cortina Guerrero*

MOLINA V., D. M.; RAMÍREZ B., V. H.; CORTINA G., H. A. Comportamiento de accesiones de *Coffea arabica* sometidas a déficit de humedad del suelo. Revista Cenicafé 67 (1): 41-54. 2016

Una alternativa para mitigar el efecto de El Niño es la producción de variedades resistentes, para lo cual es necesario la evaluación del germoplasma de café por tolerancia a sequía. Con este objetivo se sembraron en invernadero 21 introducciones Etiópicas y 11 genotipos comerciales de la Colección Colombiana de Café (CCC), bajo un diseño factorial en parcelas divididas, dos niveles de disponibilidad de agua: control y déficit, con cuatro repeticiones. Se midieron las variables: altura de la planta, número de hojas, área foliar, resistencia estomática, longitud de la raíz, peso seco de la raíz y la parte aérea, biomasa total y eficiencia en el uso de agua. Se encontró que en déficit hídrico la altura de las accesiones E.480, E.566, E.570, E.177, E.017, ET.42 y E.577 fue igual al control ($p > 0,05$). Las accesiones ET.56, E.177, ET.42 y E.480 tuvieron un número de hojas similar a los controles y no disminuyeron su área foliar con relación al control. Las accesiones E.177, E.480 y ET.56 mostraron un peso seco de la parte aérea y una biomasa total igual a las plantas con riego normal. Las accesiones ET.56, E.177, E.570 y E.577 mostraron la mayor eficiencia en el uso de agua, es decir, la disminución del volumen de agua aplicado no afectó su biomasa. Puede concluirse que las introducciones E.480, ET.56 y E.177 son promisorias como progenitores para el desarrollo de una variedad tolerante a déficit hídrico.

Palabras clave: Café, biomasa total, tolerancia, estrés abiótico, mejoramiento fisiológico.

PERFORMANCE OF *Coffea arabica* ACCESSIONS UNDER SOIL HUMIDITY DEFICIT

An alternative to mitigate the effect of El Niño is the production of resistant varieties, which requires assessment of coffee germplasm for drought tolerance. In order to reach that goal, 21 Ethiopian introductions and 11 commercial genotypes of the Colombian Coffee Collection (CCC) were planted in greenhouse under a split-plot factorial design, two levels of water availability: control and deficit, with four repetitions. The following variables were measured: plant height, number of leaves, leaf area, stomatal resistance, root length, dry weight of root and aerial part, total biomass and efficient use of water. Under water deficit conditions the height of accessions E.480, E.566, E.570, E.177, E.017, ET.42 and E.577 was the same as the control ($p > 0.05$). Accessions ET.56, E.177, ET.42 and E.480 had a similar number of leaves to the controls and their leaf area did not decrease compared to that of the control. Accessions E.177, E.480 and ET.56 showed dry weight of the aerial part and total biomass equal to that of plants with normal watering. Accessions ET.56, E.177, E.570 and E.577 showed greater efficiency in water use, *i.e.*, the decrease in the water volume did not affect their biomass. Accessions E.480, E.177 and ET.56 are promising as parents for the development of a variety tolerant to water deficit.

Keywords: Coffee, total biomass, tolerance, abiotic stress, physiological improvement.

* Investigador Científico I e Investigador Asociado, respectivamente, Disciplina de Mejoramiento Genético, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

** Investigador Científico II (hasta junio de 2014), Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas Colombia.

El café es una de las materias primas agrícolas de exportación más importantes; *Coffea arabica* representa cerca del 70% de la producción global y *Coffea canephora* el 30% restante. El impacto de la variación climática en la producción de café presagia efectos económicos y sociales que no pueden ser subestimados, debido al aumento de la temperatura y eventos climáticos impredecibles que están jugando un papel importante en la dinámica del mercado de café (3, 9). Por ejemplo, en Colombia el promedio de la producción de café suave disminuyó drásticamente de 11,3 millones de sacos de 60 kg de grano verde, a 7,1 millones de sacos, entre 2008 y 2012, lo que equivale a una disminución de 35% para el segundo país productor de café arábica en el mundo. Además, Brasil el primer productor de café en el mundo, experimentó en el año 2014 una sequía sin precedentes y un incremento de la temperatura, que afectó la producción de café (9).

En Colombia la variación climática se debe en gran parte a la ocurrencia de fases cálidas y frías en la cuenca del océano Pacífico Tropical y a las oscilaciones climáticas conocidas como Oscilación del Sur (15). Cuando la fase fría se intensifica da origen al fenómeno de La Niña, que se caracteriza principalmente por lluvias intensas y abundantes, el incremento del caudal de los ríos y las inundaciones subsiguientes (5,13). Este evento se intercala con el fenómeno de El Niño, el cual se asocia con el aumento en el promedio de la temperatura del aire y las disminuciones en la humedad del suelo, de la evapotranspiración y de las lluvias, con la consecuente reducción en el promedio del caudal de los ríos en las regiones occidental, central y norte de Colombia (13, 15).

Para contrarrestar el efecto del fenómeno de El Niño en la caficultura colombiana es

necesario identificar accesiones tolerantes, que no disminuyan su producción en períodos de déficit hídrico extremo. En café se ha encontrado que las variedades tolerantes a sequía difieren fisiológicamente de las susceptibles, debido a que utilizan mecanismos que involucran una mayor eficiencia en la extracción de agua del suelo, mediante sistemas de raíces densos y profundos (2, 11, 16), y mayor eficiencia del uso del agua a través de una menor pérdida de agua por cierre estomático (11). Además, algunas características morfológicas de las plantas, que también aportan a una mejor adaptación en suelos con reducción del suministro hídrico, se relacionan con plantas pequeñas con coronas densas, las cuales presentan condiciones para posponer la deshidratación que las plantas con coronas abiertas (2, 3, 18), así como una mayor biomasa en las raíces que en la parte aérea (12, 17), y la reducción del área y el número de las hojas (2).

En *Coffea canephora* con el objetivo de identificar las características fisiológicas y morfológicas asociadas con la tolerancia a la sequía se encontró que el clon tolerante pospone la deshidratación, debido a su capacidad para mantener el potencial de presión del xilema (Ψ_x) (1, 4), a su habilidad para retener el número y el tamaño de las hojas, junto con la conservación de la tasa de asimilación neta de carbono (A) por unidad de área de la hoja, lo cual es consecuencia de una conductancia estomática reducida (g_s) (1); estos rasgos evitan un déficit de agua interno y permiten que los clones presenten un uso eficiente de agua mayor que los clones susceptibles (1, 4, 7, 12).

Además, el incremento de la actividad de las enzimas antioxidativas puede estar asociado con la resistencia, debido a que los clones tolerantes presentan una mayor protección contra el estrés oxidativo (6).

En contraste, el clon sensible muestra una disminución significativa del Ψ_x , junto con una fuerte reducción del área total de la hoja (1) y una menor actividad de las enzimas antioxidativas (6); mientras que la g_s es similar a la del clon irrigado (1). Los clones tolerantes a sequía presentan un sistema de raíces más profundo, con una conductancia hidráulica (K_L) relativamente alta, que les permite extraer más agua de la parte inferior de las materas y al mismo tiempo mantener un estado de agua interno más favorable durante períodos secos más prolongados, que los clones sensibles (11, 12). Así mismo, el clon tolerante mantiene la actividad de la sacarosa fosfato sintasa a pesar de la disminución del potencial de agua de la hoja antes del amanecer (Ψ_{pd}), contrario al clon sensible; en consecuencia, la conservación de la capacidad para la síntesis de sacarosa le permite al clon tolerante un crecimiento adicional de la raíz (14).

Recientemente, se encontró que la vía de señalización de ácido abscísico (ABA) y de óxido nítrico son los principales determinantes moleculares que pueden explicar la eficiencia para controlar el cierre de estomas y la disminución de la transpiración de los clones de *C. canephora* tolerantes a sequía (7). El incremento de los niveles de ABA induce a un rápido cierre de estomas, con el fin de reducir la pérdida de agua por transpiración y la activación de las defensas antioxidantes para combatir el estrés oxidativo (7). Hasta la fecha, en Cenicafé solo una investigación exploró el potencial de 17 introducciones de *C. canephora*, dos de *C. congensis* y seis de *C. arabica* por tolerancia a déficit hídrico, encontrando que las variables que reflejaron el déficit hídrico fueron el grado de marchitez, la tasa de crecimiento y la pérdida de hojas. Además, los genotipos menos afectados por el déficit hídrico fueron Uganda T-3696 de *C. canephora* y Catuaí de *C. arabica* (10).

Teniendo en cuenta que en los próximos años es posible que la variación climática asociada a los fenómenos de El Niño y La Niña sea cada vez más severa en diversas regiones cafeteras del país, es importante la selección de accesiones de *C. arabica* tolerantes a déficit hídrico con rendimientos aceptables, para mantener la producción del café sin afectar los ingresos de los caficultores y de las 563 mil familias que derivan su sustento del cultivo. Por lo anterior, esta investigación tiene como objetivo identificar accesiones Etiópicas de *C. arabica* tolerantes a déficit hídrico, las cuales podrían utilizarse como progenitores para el desarrollo de variedades tolerantes a déficit hídrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, localizado en Manizales (Caldas) a 4°59' latitud Norte, 75°35' longitud Oeste, a 1.310 m de altitud.

Se utilizaron plántulas uniformes, de 21 accesiones Etiópicas y 11 genotipos comerciales de *C. arabica* obtenidos por semilla (Tabla 1), para un total de 352 plantas. Las chapolas se sembraron en bolsas de 14 kg, de 22 cm de ancho por 30 cm de alto, las cuales contenían una mezcla de suelo y pulpa descompuesta en relación 3:1; las plántulas se trasladaron a casa de malla donde permanecieron durante 2 meses en etapa de adaptación, bajo riego normal.

Cuando las plántulas tenían 6 meses se midió la capacidad de campo del sustrato y se definieron los tratamientos de déficit hídrico y el control con riego normal; a las plantas con déficit hídrico se les suspendió el riego hasta un 30% de la capacidad de campo, correspondiente a una humedad del suelo de 24%, determinado

Tabla 1. Identificación de los materiales de *Coffea arabica* evaluados.

| Número | Material | CCC | Altitud | Origen* | Accesiones Etiopes | Genotipos comerciales |
|--------|----------|-----|---------|---------|--------------------|-----------------------|
| 1 | E. 017 | 143 | 1760 | Sidamo | E.017 | |
| 2 | E. 020 | 146 | 1550 | Sidamo | E.020 | |
| 3 | E. 021 | 147 | 1600 | Sidamo | E.021 | |
| 4 | E. 557 | 536 | 1780 | Gojjam | E.557 | |
| 5 | E. 561 | 540 | 1780 | Gojjam | E.561 | |
| 6 | E. 566 | 544 | 1780 | Gojjam | E.566 | |
| 7 | E. 568 | 546 | 1780 | Gojjam | E.568 | |
| 8 | E. 570 | 548 | 1780 | Gojjam | E.570 | |
| 9 | E. 573 | 549 | 1780 | Gojjam | E.573 | |
| 10 | E. 577 | 553 | 1780 | Gojjam | E.577 | |
| 11 | E. 575 | | 1780 | Gojjam | E.575 | |
| 12 | E. 177 | | 1710 | Kaffa | E.177 | |
| 13 | E. 037 | 152 | 1950 | Shoa | E.037 | |
| 14 | E. 012 | 142 | 1800 | Harrar | E.012 | |
| 15 | E. 405 | | 1800 | Kaffa | E. 405 | |
| 16 | ET. 26 | | | Kaffa | ET. 26 | |
| 17 | ET. 56 | | | Kaffa | ET.56 | |
| 18 | ET. 42 | | 1610 | Kaffa | E.42 | |
| 19 | AR. 15 | | | Kaffa | Ar.15 | |
| 20 | E. 141 | | 1900 | Kaffa | E.141 | |
| 21 | E. 480 | | 1710 | Kaffa | E.480 | |
| 22 | A.221 | | | | | A.221 |
| 23 | A.137 | | | | | A.137 |
| 24 | ACL. 403 | | | | | A.403 |
| 25 | Iapar 59 | | | | | Iapar.59 |
| 26 | CU. 1812 | | | | | CU.1812 |
| 27 | CX. 2848 | | | | | CX.2848 |
| 28 | CU. 1850 | | | | | CU.1850 |
| 29 | NR. 287 | | | | | NR.287 |
| 30 | BH. 1247 | | | | | BH.1247 |
| 31 | Típica | | | | | Típica |
| 32 | Caturra | | | | | Caturra |

* Provincias con períodos largos de sequía

experimentalmente, y en el cual las plantas mostraron síntomas de déficit hídrico, mientras que en las plántulas control se mantuvo la humedad del suelo en 80%, de acuerdo con su capacidad de campo, que corresponde a una humedad del suelo de 48%. Para mantener la humedad del suelo

en los valores establecidos, ésta se midió diariamente en cada una de las plantas de los 32 materiales evaluados, con un medidor de humedad (ThetaProbe).

Durante los primeros 5 meses, se realizaron dos aplicaciones de DAP (2 g/planta). Cuando

se aplicaron los tratamientos hídricos las plantas no se fertilizaron, porque cuando se someten a déficit hídrico no absorben el fertilizante. Se realizaron prácticas de control de plagas y de arvenses durante todo el desarrollo del experimento.

Variables evaluadas. Para la identificación de las accesiones Etiópicas tolerantes a déficit hídrico las plantas se sometieron a los tratamientos de déficit hídrico y control con riego normal durante 10 meses, se presentan los resultados para las variables altura, área foliar, resistencia estomática, número de hojas, longitud de la raíz primaria y secundaria, peso seco de la raíz, peso seco de la parte aérea, biomasa total y el uso eficiente de agua (UEA).

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental bifactorial, donde el primer factor es el estrés hídrico con dos niveles: déficit y control con riego normal, y el segundo factor es el genotipo con 32 niveles. El diseño de tratamientos se realizó en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tratamiento hídrico y la subparcela los genotipos. La unidad experimental fue la planta, con cuatro repeticiones por tratamiento; cada tratamiento fue una combinación de genotipo x estrés hídrico.

Análisis de la información. Se realizó un análisis de estadística descriptiva y una prueba de Bartlett de la homogeneidad de varianza. Las variables evaluadas fueron el promedio de la resistencia estomática, la altura de la planta, el área foliar, la longitud de la raíz primaria y raíces secundarias, el peso seco de la raíz, el peso seco de la parte aérea, la biomasa total, el número de hojas y el uso eficiente de agua. Una vez comprobada la homogeneidad de varianza se realizó el análisis de varianza (ANAVA); las fuentes de variación fueron el estrés hídrico (déficit y control con riego adecuado), los genotipos

y las repeticiones. Por último, se realizó la comparación de medias utilizando la prueba de Dunnett. Se hizo análisis de correlación entre variables. La información se analizó mediante el programa SAS 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas entre estrés hídrico, genotipos y la interacción estrés por genotipo para las variables peso seco de la parte aérea y la raíz, biomasa total, resistencia estomática, área foliar y el uso eficiente de agua; también hubo diferencias entre genotipos y la interacción estrés por genotipo para las variables número de hojas y altura. Mientras que la interacción estrés por genotipo para las variables longitud de raíz primaria y secundaria no fue significativa (Tabla 2).

En déficit hídrico las accesiones E.017, E.480, ET.42, E.577, E.566, E.570 y E.177 presentaron una altura similar al control con riego adecuado (Figura 1), mientras que la variedad Típica presentó una reducción en altura de 17% (Tabla 3). Cuatro de estas accesiones (E.177, ET.42, E.480 y E.577) junto con la accesión ET.56 tuvieron un área foliar igual a las plantas con riego normal (Figura 2). En contraste, las variedades comerciales Típica, Caturra y la línea de Variedad Castillo® CX.2848 redujeron su área foliar en 27%, 62% y 35%, respectivamente (Tabla 3). Seis accesiones (E.177, ET.56, E.480, ET.42, E.012 y ET.26), presentaron un número de hojas igual a las plantas con riego normal (Figura 2). Los genotipos comerciales de las variedades Típica, Caturra y CX.2848 presentaron una defoliación de 36%, 40% y 3%, respectivamente (Tabla 3).

En la literatura se ha encontrado que el principal modo de adaptación de las plantas de café a déficit hídrico es mantener constante

Tabla 2. Cuadrados medios de las variables altura (Alt), área foliar (AF), resistencia estomática (RE), longitud de raíz primaria (LRP) y secundaria (LRS), peso seco de la parte aérea (PSA), biomasa total (BT), número de hojas (NH) y uso eficiente de agua (UEA), para los 32 genotipos de *C. arabica* sometidos a déficit hídrico y el control con riego normal.

| Fuente | GL | Alt (cm) | AF (cm ²) | RE (s/m) | LRP (cm) | LRS (cm) | PSA (g) | PSR (g) | NH | BT (g) | UEA (g.L ⁻¹) |
|---------------------|----|-------------|-----------------------|---------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|
| Repetición | 3 | 1.144,41* | 5.831,718,8 | 1.368.207,9** | 276,8 ns | 246,5 ns | 1.772,3ns | 275,3 ns | 6.587,0* | 3.330,7ns | 4,11 ns |
| Estrés | 1 | 85,69 ns | 9.546.637,6** | 1.259.991,8** | 7,0 ns | 911,5** | 10.628,8** | 4.299,2** | 1.993,3 ns | 28.447,9** | 414,5** |
| Estrés x Repetición | 3 | 765,83* | 1554678,6ns | 104.248,7 ns | 173,9 ns | 542,6 ns | 862,4ns | 408,0* | 4.166,1 ns | 2.186,6ns | 1,54 ns |
| Adcesión | 31 | 38.515,23** | 251.046.676,8** | 8.825.680,9** | 1.836,4* | 3.082,9 ns | 88.512,8** | 11.644,0** | 173.129,5** | 16.1504,3** | 277,3** |
| Estrés x Adcesión | 31 | 4.400,04* | 59.302.404,5** | 998.095,4* | 1.071,5 ns | 328,5 ns | 16.222,7** | 3.067,6** | 34807,1* | 3.1477,3** | 162,0** |

Tabla 3. Promedios de las variables altura (Alt), área foliar (AF), resistencia estomática (RE), número de hojas (NH), biomasa total (BT) y Uso Eficiente de agua (UEA).

| Accesión | Alt (cm) | | AF (cm ²) | | RE (s/m) | | NH | | BT (g) | | UEA (g.L ⁻¹) | |
|----------|----------|---------|-----------------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|---------|
| | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit |
| A.137 | 48,8 | 52,2 | 2.035,2 | 1.824,3 | 594,2 | 667,5 | 81,0 | 71,2 | 42,38 | 31,13 | 0,78 | 3,65 |
| A.221 | 55,1 | 68,2 | 3.632,3 | 6.199,1 | 649,4 | 748,1 | 103,2 | 163,0 | 82,98 | 100,88 | 1,40 | 7,67 |
| A.403 | 60,0 | 46,7 | 4.802,1 | 1.883,6 | 606,6 | 802,9 | 110,7 | 69,0 | 116,57 | 32,27 | 1,90 | 3,04 |
| AR.15 | 76,8 | 66,6 | 3.924,3 | 2.886,5 | 622,6 | 868,3 | 105,0 | 90,0 | 117,84 | 51,18 | 1,96 | 5,13 |
| BH.1247 | 44,6 | 38,8 | 2.160,1 | 1.713,2 | 622,1 | 608,9 | 73,7 | 60,5 | 46,68 | 32,00 | 1,30 | 3,29 |
| CU.1812 | 41,1 | 48,0 | 1.449,1 | 2.550,3 | 753,0 | 819,6 | 56,7 | 92,0 | 32,57 | 49,74 | 0,61 | 5,20 |
| CU.1850 | 60,4 | 61,9 | 3.307,4 | 3.520,6 | 510,7 | 635,4 | 105,5 | 100,0 | 88,14 | 59,72 | 1,45 | 6,64 |
| CX.2848 | 40,3 | 41,7 | 2.023,2 | 1.313,0 | 688,6 | 1.153,2 | 66,3 | 64,2 | 46,81 | 27,34 | 0,89 | 2,84 |
| Caturra | 40,8 | 31,3 | 2.382,8 | 895,6 | 876,9 | 1.049,0 | 72,6 | 43,2 | 45,23 | 13,02 | 1,40 | 1,81 |
| E.012 | 77,2 | 76,1 | 3.576,9 | 3.199,7 | 385,5 | 422,7 | 96,2 | 101,7 | 113,81 | 70,82 | 1,80 | 6,15 |
| E.017 | 49,8 | 61,5 | 1.702,5 | 1.587,4 | 679,1 | 819,7 | 72,0 | 69,5 | 50,04 | 35,46 | 0,90 | 3,53 |
| E.020 | 69,7 | 61,8 | 3.025,1 | 1.409,1 | 579,0 | 839,5 | 107,2 | 74,7 | 74,17 | 30,71 | 2,01 | 3,02 |
| E.021 | 51,4 | 55,5 | 1.369,2 | 1.191,1 | 785,3 | 744,5 | 62,7 | 62,0 | 31,63 | 23,59 | 0,63 | 2,23 |
| E.037 | 73,9 | 66,1 | 4.125,5 | 2.752,6 | 874,8 | 858,2 | 121,5 | 98,2 | 100,34 | 37,16 | 1,75 | 3,93 |
| E.141 | 81,6 | 60,0 | 4.077,5 | 1.889,9 | 628,2 | 939,3 | 139,0 | 82,2 | 83,74 | 34,21 | 2,32 | 3,62 |
| E.177 | 72,3 | 79,0 | 2.657,4 | 3.180,0 | 414,5 | 476,2 | 84,0 | 105,2 | 75,56 | 77,28 | 1,26 | 6,56 |

Continúa...

...continuacion

| Accesión | Alt (cm) | | AF (cm ³) | | RE (s/m) | | NH | | BT (g) | | UEA (g·L ⁻¹) | |
|----------|----------|---------|-----------------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|---------|
| | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit | Control | Déficit |
| E.405 | 58,3 | 56,3 | 2.010,8 | 1.634,7 | 627,6 | 945,8 | 69,7 | 63,0 | 43,44 | 30,68 | 0,83 | 3,25 |
| E.480 | 52,0 | 63,5 | 1.342,4 | 1.756,6 | 1.136,9 | 1.210,8 | 43,2 | 65,0 | 30,94 | 33,98 | 0,97 | 3,10 |
| E.557 | 41,2 | 41,4 | 1.030,4 | 615,6 | 803,6 | 874,3 | 38,5 | 23,5 | 22,22 | 12,62 | 0,47 | 1,63 |
| E.561 | 48,2 | 43,3 | 1.319,6 | 1.228,6 | 874,0 | 913,8 | 54,7 | 45,7 | 29,33 | 18,32 | 0,60 | 2,10 |
| E.566 | 58,7 | 65,4 | 2.663,5 | 1.977,9 | 755,2 | 981,3 | 99,0 | 75,2 | 65,95 | 42,05 | 1,24 | 3,71 |
| E.568 | 50,9 | 38,9 | 1.592,7 | 941,3 | 371,6 | 805,2 | 69,7 | 33,5 | 37,80 | 15,98 | 1,15 | 2,28 |
| E.570 | 48,4 | 53,4 | 1.139,8 | 1005,6 | 630,2 | 674,1 | 40,7 | 40,2 | 27,84 | 22,74 | 0,55 | 2,34 |
| E.573 | 50,9 | 45,5 | 1.917,9 | 882,1 | 572,2 | 896,6 | 62,0 | 29,2 | 47,69 | 15,77 | 1,49 | 2,01 |
| E.575 | 49,4 | 43,6 | 1.436,8 | 825,8 | 885,6 | 922,8 | 55,2 | 42,5 | 34,81 | 17,03 | 0,72 | 1,98 |
| E.577 | 42,6 | 48,6 | 1.093,3 | 1.199,1 | 888,6 | 986,1 | 54,2 | 50,5 | 24,09 | 20,37 | 0,49 | 2,44 |
| ET.26 | 85,8 | 77,7 | 4.100,2 | 3.602,5 | 334,4 | 420,2 | 129,0 | 144,2 | 136,97 | 91,72 | 2,20 | 7,98 |
| ET.42 | 60,4 | 71,3 | 1.576,1 | 2.471,6 | 486,1 | 599,7 | 70,0 | 94,5 | 63,93 | 55,65 | 1,12 | 4,93 |
| ET.56 | 72,9 | 71,9 | 3.649,6 | 3.719,8 | 444,1 | 519,5 | 105,0 | 122,5 | 85,74 | 85,97 | 1,45 | 6,52 |
| Iapar.59 | 35,2 | 31,3 | 1.759,4 | 1.643,4 | 900,4 | 1.089,1 | 61,0 | 59,7 | 35,80 | 23,74 | 0,70 | 2,26 |
| NR.287 | 46,2 | 41,7 | 2.733,2 | 2.240,5 | 825,1 | 984,7 | 72,0 | 72,0 | 57,27 | 10,84 | 1,13 | 3,21 |
| Tipica | 57,3 | 47,3 | 2.003,9 | 1.446,1 | 1.012,7 | 1.031,7 | 69,2 | 63,7 | 40,17 | 5,87 | 0,81 | 2,07 |

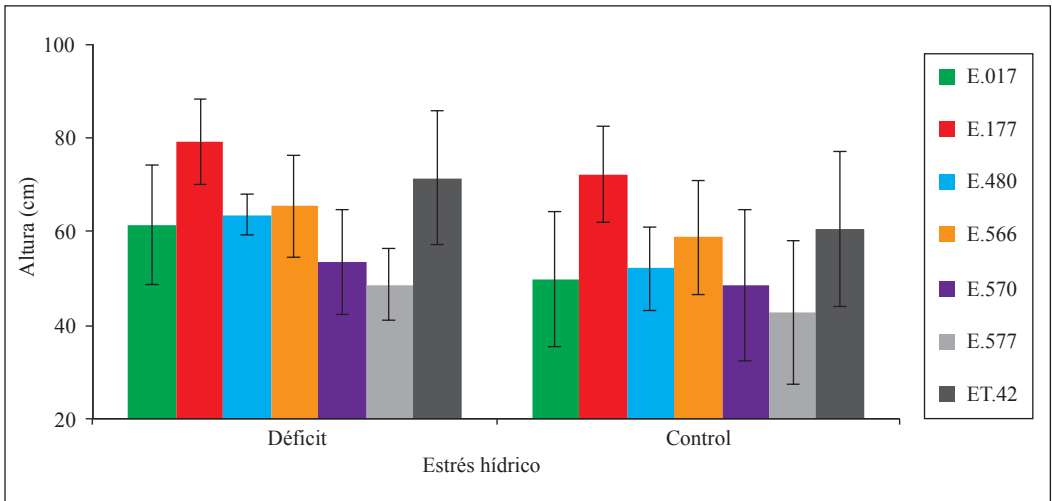


Figura 1. Accesiones etíopes que en déficit hídrico no disminuyeron su altura con relación al control con riego normal. Las barras indican la desviación estándar.

la tasa de asimilación neta de carbono (A) reduciendo el incremento del área total de la hoja por planta (8), es así como plantas de *C. arabica* sometidas en invernadero a irrigación diferencial, durante 120 días, mostraron que el área total de la hoja de los árboles irrigados dos veces por semana fue la mitad en relación con las plantas irrigadas dos veces por día, aunque la A con respecto al área de la hoja permaneció constante (8). Del mismo modo, las plantas de *C. arabica* irrigadas dos veces por semana produjeron menos hojas, las cuales fueron más pequeñas y mostraron mayores tasas de senescencia que las plantas irrigadas dos veces por día (8). De forma similar, en *C. canephora* cuando el clon 46, susceptible a sequía, se sometió a déficit hídrico redujo significativamente su área foliar, en contraste con el clon 120, tolerante a sequía, que no disminuyó su área foliar con relación al control con riego normal (1). Es decir, que para el clon 46, susceptible a sequía, la disminución del área de la hoja y de la fotosíntesis contribuyó a la reducción de su rendimiento. Mientras que para el clon 120, tolerante a sequía, la

retención de las hojas y el mantenimiento de la tasa de asimilación neta de carbono incrementó su rendimiento, a pesar de las fluctuaciones en la disponibilidad de agua del suelo (1). En consecuencia, el clon 120 está mejor adaptado para posponer la deshidratación y mantener la fotosíntesis, lo que contribuye a sostener su productividad en áreas propensas a déficit hídrico (1).

De igual manera, Siriema (Híbrido de *C. arabica* x *C. racemosa* Lour.) clasificado por observaciones empíricas como tolerante a sequía, mostró un área de la hoja mayor que Catucaí (Híbrido de *C. arabica* L. “Catucaí” y el híbrido Icatu (*C. arabica* x *C. canephora* Pierre)) sensible a sequía (4). Este comportamiento fue similar al observado para cinco de las accesiones de *C. arabica* evaluadas (E.177, ET.42, E.480, E.577 y ET.56), debido a que a pesar de un déficit hídrico prolongado estas introducciones no redujeron su área foliar, en contraste con el resto de las accesiones evaluadas que disminuyeron su área foliar (Tabla 3).

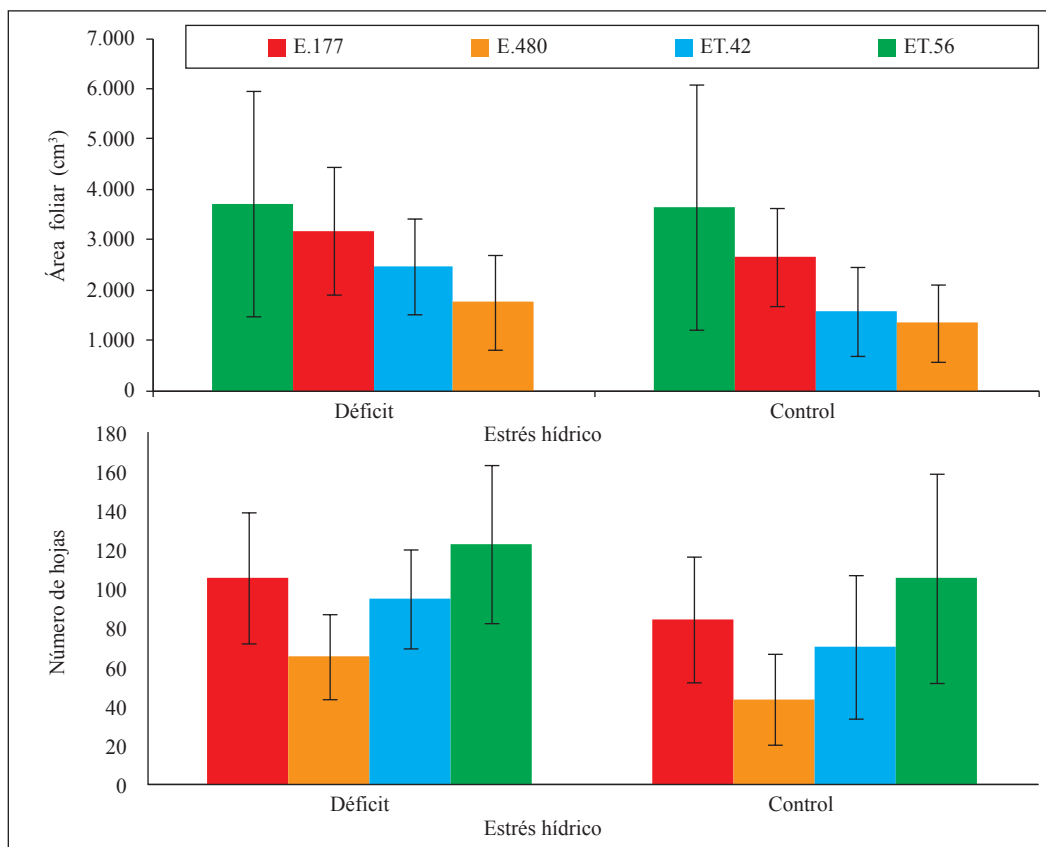


Figura 2. Accesiones etíopes con área foliar y número de hojas similar a las plantas control con riego normal. Las barras representan la desviación estándar.

Las accesiones E.568, E.405, E.020 y E.566 bajo déficit hídrico presentaron el mayor aumento de la resistencia estomática con relación a los controles con riego normal (Tabla 3). Esto sugiere que estas accesiones cerraron sus estomas más temprano que el resto de las introducciones probadas, lo cual les permitió posponer la deshidratación y mantener la fotosíntesis. Este mismo comportamiento lo presentaron en *Coffea canephora* el clon 120 (1) y en *C. arabica* el genotipo Siriema (4), ambos tolerantes a sequía. Este mecanismo de disminución de la conductancia estomática e hidráulica en sequía previene la excesiva

pérdida de agua y limita el daño de la hoja, causado por los bajos potenciales de agua. Sin embargo, esta reducción también restringe la asimilación de dióxido de carbono, y por lo tanto, la acumulación de biomasa y la productividad. Por esto, la adecuada coordinación de las propiedades hidráulicas y la capacidad fotosintética podría ser crucial para conseguir mayores ganancias de carbono bajo condiciones de déficit hídrico (2, 4).

En las cuatro accesiones que presentaron la mayor resistencia estomática en respuesta al déficit hídrico (E.568, E.405, E.020 y

E.566), se registró que el cierre estomático afectó su crecimiento, debido a que las accesiones E.568, E.405 y E.020 tuvieron una altura menor que el control con riego adecuado, y además, las cuatro accesiones redujeron su área foliar, el número de hojas y biomasa total, con respecto del control con riego normal (Tabla 3).

Bajo déficit hídrico, las accesiones E.177, E.480, E.570, ET.56, E.017, E.021, E.141 y E.566, mostraron una longitud de la raíz primaria y secundaria igual al control con riego normal. Además, las accesiones E.177, E.480, E.570, ET.42 y ET.56 presentaron la menor disminución del peso seco de la raíz con relación al control con riego normal; lo cual sugiere que estos genotipos podrían extraer más agua del suelo, esto podría explicar por qué las accesiones E.480, E.177, ET.56 presentaron una altura, área foliar, número de hojas y biomasa total similar a los controles con riego normal (Tabla 3). Por el contrario, los controles Típica y Caturra redujeron la longitud de la raíz primaria en 12% y 17%, respectivamente. Del mismo modo, en la evaluación realizada por Orozco y Jaramillo (10) las accesiones de *C. canephora*, *C. congensis* y *C. arabica* presentaron una reducción de 70% del peso fresco de la raíz con relación al testigo.

Se ha reportado que las plantas adaptadas a sequía se caracterizan por sistemas de raíces profundos y vigorosos, es así como en robusta un sistema de raíz profundo y una mayor biomasa en los clones tolerantes se asocia con un mejor escape a las limitaciones de agua del suelo (11, 16). Sin embargo, en robusta no se encontraron correlaciones significativas entre mayor biomasa de la raíz y producción, sugiriendo que estas características son independientes. Una limitación del trabajo realizado por Ramos y Carvalho (16) fue la evaluación

del sistema de raíz usando plántulas y la determinación de la producción en plantas adultas en el campo. En cualquier caso, las dificultades evaluando el sistema de raíz, la gran influencia ambiental y la compleja herencia de estas características impiden el uso de estos rasgos en los programas de selección a pesar de la relación positiva entre la profundidad de la raíz, su desarrollo y el rendimiento bajo condiciones de sequía (2). Además, en otros trabajos se ha observado que en *C. arabica* la conductancia hidráulica (K_L) se correlacionó positivamente con la transpiración diaria total. Así los genotipos de *C. arabica* con una K_L alta pueden disminuir el agua del suelo accesible más rápidamente y tener un sistema de raíz más profundo que los genotipos con baja conductancia hidráulica (19). Esto es ventajoso en un suelo sin limitaciones hídricas, pero desventajoso en suelos con déficit hídrico prolongado debido a que una K_L alta podría acelerar la severidad del déficit hídrico en la planta (2). Por esto el conocimiento de las condiciones ambientales para las cuales las variedades serán mejoradas es crucial para el éxito de los programas de mejoramiento.

En déficit hídrico las accesiones E.177, E.480 y ET.56 mostraron un peso seco de la parte aérea y una biomasa total similar a las plantas con riego normal (Figura 3). En contraste, los controles Típica, Caturra y CX.2848 disminuyeron el peso seco de la parte aérea en 52%, 70% y 37%, respectivamente (Tabla 3). Del mismo modo, Orozco y Jaramillo (10), registraron en Caturra una reducción significativa del peso seco de la parte aérea cuando se suprimió el riego durante un mes, pero Típica no disminuyó significativamente el peso seco de su parte aérea bajo el mismo tratamiento. Además, las introducciones de *C. canephora*, *C. arabica*

y *C. congensis* sin riego durante mes y medio mostraron una reducción de 35% del peso seco de su parte aérea con respecto del testigo, y la reanudación del riego durante 15 días no favoreció la recuperación de su peso seco (10).

Las accesiones ET.56, E.177 y E.577 fueron más eficientes en el uso de agua, es decir, necesitaron un menor volumen de agua

para conseguir una biomasa mayor (Figura 4). Además, dos de estas accesiones, la ET.56 y E.177, presentaron una altura, área foliar, número de hojas, biomasa total, peso seco de la parte aérea y longitud de raíz primaria y secundaria, similar a las plantas con riego normal, lo cual podría sugerir que estas dos accesiones son promisorias como progenitores para el desarrollo de una variedad tolerante al déficit hídrico.

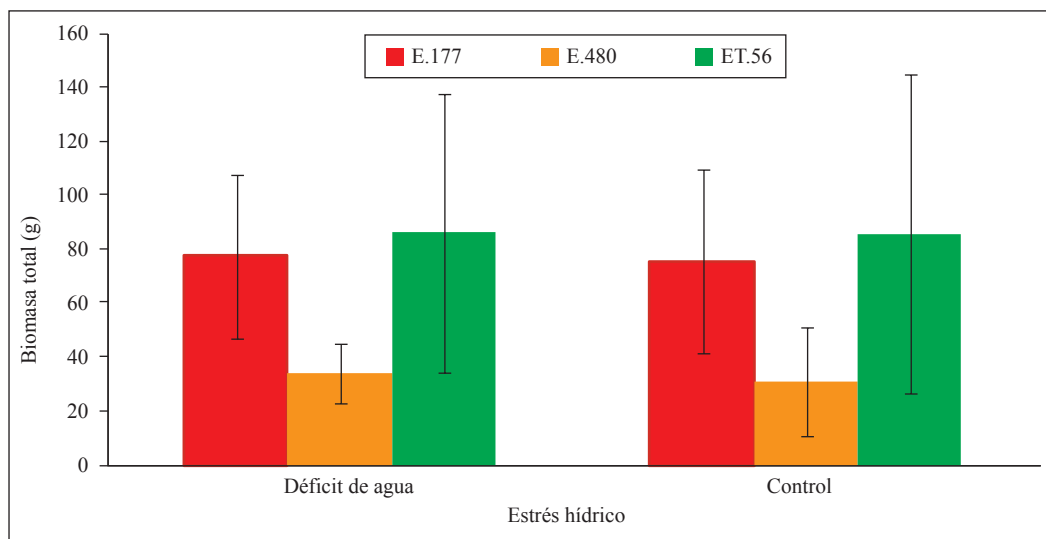


Figura 3. Accesiones etíopes con biomasa total igual al control con riego normal. Las barras representan la desviación estándar.

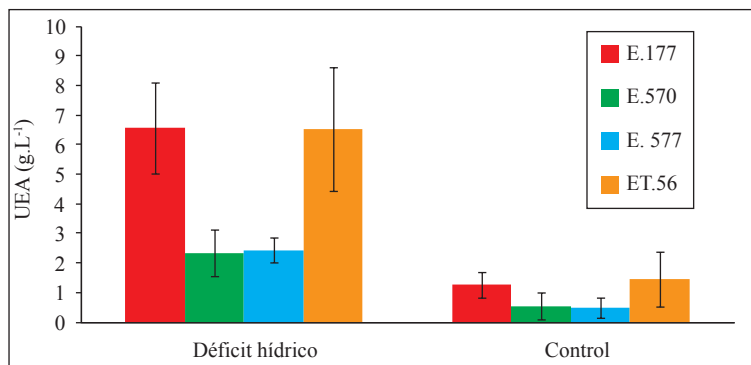


Figura 4. Accesiones etíopes que presentaron el mayor uso eficiente de agua. Las barras representan la desviación estándar.

Tabla 4. Correlación de las variables analizadas con los 32 genotipos de *C. arabica* sometidos a los estrés abióticos de déficit hídrico y el control con riego normal.

| | Alt. | PSA | NH | AF | PSR | BT | UEA | LRS | LRP | RE |
|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| Alt. | | 0,81 | 0,75 | 0,70 | 0,66 | 0,77 | 0,49 | 0,40 | 0,39 | -0,37 |
| PSA | | | 0,86 | 0,91 | 0,90 | 0,99 | 0,38 | 0,35 | 0,37 | -0,45 |
| NH | | | | 0,90 | 0,75 | 0,83 | 0,56 | 0,42 | 0,34 | -0,37 |
| AF | | | | | 0,82 | 0,90 | 0,50 | 0,41 | 0,31 | -0,35 |
| PSR | | | | | | 0,94 | 0,24 | 0,32 | 0,36 | -0,48 |
| BT | | | | | | | 0,33 | 0,35 | 0,37 | -0,47 |
| UEA | | | | | | | | 0,41 | 0,17 | -0,05 |
| LRS | | | | | | | | | 0,16 | -0,015 |
| LRP | | | | | | | | | | -0,05 |
| RE | | | | | | | | | | |

Altura (Alt), área foliar (AF), resistencia estomática (RE), longitud de raíz primaria (LRP) y secundaria (LRS), peso seco de la parte aérea (PSA), biomasa total (BT), número de hojas (NH) y uso eficiente de agua (UEA).

Se realizaron las correlaciones de las variables evaluadas con las 21 accesiones Etiópicas y los 11 genotipos comerciales: altura (Alt), peso seco parte aérea (PSA), número hojas (NH), área foliar (AF), peso seco raíz (PSR), biomasa total (BT), uso eficiente de agua (UEA), longitud raíz primaria (LRP), longitud raíz secundaria (LRS) y resistencia estomática (RE) (Tabla 4). Las variables peso seco de la parte aérea, área foliar, peso seco de la raíz y la biomasa total tuvieron una correlación altamente significativa. La variable número de hojas presentó una correlación altamente significativa con el peso seco de la parte aérea, el área foliar y la biomasa total. La altura mostró una correlación altamente significativa con el peso seco de la parte aérea. Mientras que el uso eficiente de agua, la resistencia estomática, la longitud de raíz primaria y secundaria, no mostraron correlación significativa con las demás variables evaluadas (Tabla 4).

Puede concluirse que las introducciones E.480, ET.56 y E.177 presentaron una altura, área foliar, número de hojas, biomasa total, peso seco de la parte aérea, longitud de raíz secundaria y uso eficiente de agua,

mayores o iguales al control con riego normal, lo cual podría sugerir que estas tres accesiones son promisorias como progenitores para el desarrollo de una variedad tolerante a déficit hídrico. Estos resultados serán confirmados en el invernadero y en el campo con la finalidad de identificar accesiones tolerantes a déficit hídrico en la Colección Colombiana de Café, para el desarrollo de variedades tolerantes a déficit hídrico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar sus más sinceros agradecimientos a la agrónoma Elsa Viviana Marín Montoya por su colaboración en el montaje y aplicación de los tratamientos de estrés hídrico, a los auxiliares Mónica Jiménez Murcia, Hernán Díaz, Omar Villarreal y Conrado Quintero, por su colaboración en la aplicación de los tratamientos de estrés hídrico y a los señores Carlos Augusto Vera y Enrique Chanchí por la recolección de las semillas y el establecimiento de los almácigos en la Estación Experimental Naranjal.

LITERATURA CITADA

1. DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, M.A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field grown clones of *Coffea canephora*. *Plant science* 164(1):111-117. 2003.
2. DAMATTA, F.M. Exploring drought tolerance in coffee: A physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian journal of plant physiology* 16(1):1-6. 2004.
3. DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. *Brazilian journal of plant physiology* 18(1):55-81. 2006.
4. DIAS, P.C.; ARAUJO, W.L.; MORAES, G.A.; BARROS, R.S.; DAMATTA, F.M. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. *Journal of plant physiology* 164(12):1639-1647. 2007.
5. GUZMÁN, O.; BALDION, J.V. Influencia del evento frío del Pacífico en la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 50(3):222-237. 1999.
6. LIMA, A.L.; DAMATTA, F.M.; PINHEIRO, H.A.; TOTOLA, M.R.; LOUREIRO, M.E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. *Environmental and experimental botany* 47(3):239-247. 2002.
7. MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.; RAMOS, H.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.; CARNEIRO, A.; SUJII, P.; ALEKCEVETCH, J.; SILVA, V.; DAMATTA, F.M.; FERRAO, M.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L.; SILVA, F.; ANDRADE, A. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. *Journal of experimental botany* 63(11):4191-4212. 2012.
8. MEINZER, F.C.; SALIENDRA, P.Z.; CRISOSTO, C.H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea arabica* during adjustment in different soil moisture regimes. *Australian journal of plant physiology* 1982):171-184. 1992.
9. MINIUSSI, M.; TERRA, L. DEL; SAVI, T.; PALLAVICINI, A. Aquaporins in *Coffea arabica* L.: Identification, expression, and impacts on plant water relations and hydraulics. *Plant physiology and biochemistry* 95: 92-102. 2015.
10. OROZCO, F.J.; JARAMILLO, A. Comportamiento de introducciones de *Coffea* sometidas a condiciones de déficit de humedad del suelo. *Cenicafé* 29(3):61-93. 1978.
11. PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; FONTES, E.P.B.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long term drought. *Plant science* 167(6):1307-1314. 2004.
12. PINHEIRO, H.A.; DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; LOUREIRO, M.E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of botany* 96(1):101-108. 2005.
13. POVEDA J., G.; JARAMILLO R., A.; GIL, M.M.; QUICENO, N.; MANTILLA, R. Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil moisture and vegetation index (NDVI) in Colombia. *Water resources research* 37(8):2169-2178. 2001.
14. PRAXEDES, S.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M.; FERRAO, M.; CORDEIRO, A. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*) leaves. *Environmental and experimental botany* 56(3):263-273. 2006.
15. RAMÍREZ B., V.H.; JARAMILLO R., A. Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. *Cenicafé* 60(2):161-172. 2009.
16. RAMOS, R.L.S.; CARVALHO, A. Shoot and root evaluations on seedlings from *Coffea* genotypes. *Bragantia* 56(1):59-68. 1997.
17. SILVA, P.; CAVATTE, P.; MORAIS, L.; MEDINA, E.; DAMATTA, F.M. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: Implications for breeding aimed at improving drought tolerance. *Environmental and experimental botany* 87:49-57. 2013.
18. TAUSEND, P.C.; MEINZER, F.C.; GOLDSTEIN, G. Control of transpiration in three coffee cultivars: The role of hydraulic and crown architecture. *Trees structure and function* 14(4):181-190. 2000.
19. TAUSEND, P.C.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C. Water utilization, plant hydraulic properties and xylem vulnerability in three contrasting coffee (*Coffea arabica*) cultivars. *Tree physiology* 20(3):159-168. 2000.

DENSIDAD DE SIEMBRA DEL CAFÉ VARIEDAD CASTILLO® EN SISTEMAS AGROFORESTALES, EN EL DEPARTAMENTO DE SANTANDER-COLOMBIA

Fernando Farfán Valencia*, Pedro María Sánchez Arciniegas**

FARFÁN V., F.; SÁNCHEZ A., P. Densidad de siembra del café Variedad Castillo® en sistemas agroforestales, en el departamento de Santander-Colombia. Revista Cenicafé 67 (1): 55-62. 2016

Con el propósito de determinar la densidad de siembra con la que se obtiene la producción máxima para *Coffea arabica*, Variedad Castillo® general, en la Finca Las Tapias, ubicada en el municipio del Socorro, departamento de Santander, se evaluaron las densidades de siembra del café de 2.500, 5.000 y 10.000 plantas/ha, bajo sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) establecido a 70, 123 y 278 árboles/ha. Los resultados indican que la densidad de siembra del café con la que se obtuvo la mayor producción fue de 10.000 plantas/ha con el sombrío establecido a cualquier densidad; y la máxima producción se alcanzó con el café establecido con 10.000 plantas/ha y con el sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) con 123 árboles/ha.

Palabras clave: Sombrío, producción, *Inga edulis*, sistema agroforestal.

PLANTING DENSITY OF THE CASTILLO® COFFEE VARIETY IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE DEPARTMENT OF SANTANDER-COLOMBIA

In order to determine the planting density at which the maximum production is obtained for *Coffea arabica*, general Castillo® Variety, the coffee planting densities of 2,500, 5,000 and 10,000 plants/ha were evaluated under shade of *Inga edulis* (Santafereno guamo) set at 70, 123 and 278 trees/ha at Las Tapias farm, located in the municipality of Socorro, Santander department. The results indicated that 10,000 plants/ha with shading set at any density was the coffee planting density with the highest yield; and the average maximum production was reached with coffee established at 10,000 plants/ha and the shade of *Inga edulis* (Santafereno guamo) at 123 trees/ha.

Keywords: Shading, production, *Inga edulis*, agroforestry system.

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

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

La cantidad de café pergamino seco obtenido al término de un ciclo productivo, es el resultado de la sumatoria de diversos factores, entre los cuales pueden mencionarse la variedad cultivada, la oferta ambiental, el manejo y la ontogenia del cultivo. Cualquier proceso de análisis para tratar de identificar la producción máxima alcanzable en una región determinada, deberá empezar por identificar la interacción de dichos factores. Asociar la producción con uno o pocos factores, como por ejemplo factores climáticos usando metodologías que implican análisis de regresiones, restringen el análisis de situaciones complejas que se presentan al interior de los sistemas de producción, como son los procesos biológicos (9).

Uno de estos procesos biológicos es el desarrollo vegetativo y productivo del café, lo cual implica entre otros, la formación de órganos potenciales de ser cosechados, es decir, los frutos, la determinación de la cantidad máxima de frutos a cosechar, el llenado de estos órganos y la pérdida de la funcionalidad de las hojas (6,16). La cantidad de frutos a cosechar dependerá de la manipulación del número de árboles por unidad de superficie, lo que a su vez está determinado por el establecimiento de un adecuado índice de área foliar, que para el caso del café oscila entre siete y ocho (4). El potencial fotosintético, el nivel de nutrientes en el suelo, la radiación solar, la temperatura y la disponibilidad hídrica, entre muchos otros, son factores importantes que determinan la magnitud final del área foliar y la del sistema radical alcanzado por el cultivo (8).

En sistemas complejos como los sistemas agroforestales, la determinación de la densidad de siembra adecuada para regiones específicas, mejora la capacidad productiva del suelo mediante la regulación del pH, aumento en

los niveles de Ca, Mg, K, P y C orgánico, la estabilidad de agregados, el mejoramiento de la retención de agua y la reducción de los niveles de Al, debido a que permite una mayor absorción de agua y nutrientes, reduciendo de esta manera las pérdidas y el uso de fertilizantes, lo que puede dar como resultado un incremento de la productividad comparado con los sistemas a libre exposición solar, en regiones donde el cultivo debe hacerse bajo sombra (4, 7, 15). La adopción de las nuevas tecnologías en la agricultura requiere de estudios de ordenación de la población, lo que permite maximizar el sistema de producción (14). En este estudio se determinó la densidad de siembra con la cual se obtiene la producción máxima para el café Variedad Castillo® cultivado en un sistema agroforestal, en el departamento de Santander, Colombia.

La Variedad Castillo® es un cruzamiento de Caturra x Híbrido de Timor, que después de sucesivas generaciones de selección de las mejores líneas o componentes, fueron propagados y su semilla se mezcló para la obtención de esta. Castillo® es una variedad compuesta, de porte bajo, ligeramente mayor que Caturra, de ramas largas, hojas grandes, vigorosa, de grano grande, excelente calidad en taza, producción superior a la de Caturra, resistente a la roya del café y adaptada a la zona cafetera de Colombia (1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio. El estudio se realizó en la finca Las Tapias, ubicada en el municipio de El Socorro (Santander, Colombia), a 06° 25' 29" N y 73° 12' 49" W. Las características del suelo fueron: pH 4,3; N 0,42%; materia orgánica 10,5%; P 16,7 mg.kg⁻¹; K 0,43 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Ca 1,39 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Mg 0,43 cmol₍₊₎.kg⁻¹; Al 5,2 cmol₍₊₎.kg⁻¹ y suelo de textura arenosa. En la zona se tiene un promedio de precipitación

anual de 1.772 mm, con tres meses secos entre diciembre y marzo, y temperatura media anual de 18,6°C, aproximadamente.

Tratamientos. Los tratamientos estuvieron compuestos por las combinaciones de tres niveles de distancias de siembra del sombrío (**Factor A**) y tres distancias de siembra del café (**Factor B**), como se describen en la Tabla 1.

La numeración completa de los tratamientos se presenta en la Tabla 2.

Diseño experimental. Se empleó un diseño de bloques al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas, con tres repeticiones, con el Factor A (distancias de siembra del sombrío) como las parcelas principales y el Factor B (distancias de siembra del café) las subparcelas.

Tabla 1. Distancias de siembra del sombrío y del café.

| Factor A. Distancias de siembra del sombrío | Factor B. Distancias de siembra del café |
|---|--|
| A ₁ . 6,0 x 6,0 m: 278 plantas/ha | B ₁ . 1,00 x 1,00 m (10.000 plantas/ha) |
| A ₂ . 9,0 x 9,0 m: 123 plantas/ha | B ₂ . 1,42 x 1,42 m (5.000 plantas/ha) |
| A ₃ . 12,0 x 12,0 m: 70 plantas/ha | B ₃ . 2,00 x 2,00 m (2.500 plantas/ha) |

Tabla 2. Tratamientos evaluados.

| Nº | Tratamiento | Descripción |
|----|-------------|---|
| 1 | A1 B1 | Sombrío a 6 x 6 m y café a 1,00 x 1,00 m |
| 2 | A1 B2 | Sombrío a 6 x 6 m y café a 1,42 x 1,42 m |
| 3 | A1 B3 | Sombrío a 6 x 6 m y café a 2,00 x 2,00 m |
| 4 | A2 B1 | Sombrío a 9 x 9 m y café a 1,00 x 1,00 m |
| 5 | A2 B2 | Sombrío a 9 x 9 m y café a 1,42 x 1,42 m |
| 6 | A2 B3 | Sombrío a 9 x 9 m y café a 2,00 x 2,00 m |
| 7 | A3 B1 | Sombrío a 12 x 12 m y café a 1,00 x 1,00 m |
| 8 | A3 B2 | Sombrío a 12 x 12 m y café a 1,42 x 1,42 m |
| 9 | A3 B3 | Sombrío a 12 x 12 m y café a 2,00 x 2,00 m |

Material vegetal. De café se empleó Variedad Castillo® general y la especie para sombra fue *Inga edulis* (guamo santafereño). Durante el primer año se estableció el sombrío transitorio con *Tephrosia candida* (tefosia), sembrada a distancias de 1,0 m entre surcos y 0,5 m entre plantas. Tanto el sombrío como el café y el sombrío transitorio se establecieron simultáneamente en el año 2007, con la siguiente secuencia: Trazado y establecimiento del sombrío permanente, trazado y establecimiento del café y trazado y siembra del sombrío transitorio.

Características de las parcelas. En la Tabla 3 se relaciona la información de las parcelas experimentales.

Entre cada tratamiento y cada replicación se dejaron espacios de 9,0 m con el fin de evitar la interferencia en el desarrollo de las

Tabla 3. Detalles de las parcelas experimentales.

| Nº | AP | PCP | PCB | PCEP | DSC | ASP | DSS |
|----|-----|-----|-----|------|--------|-----|-----|
| 1 | 144 | 160 | 48 | 112 | 10.000 | 9 | 278 |
| 2 | 144 | 72 | 24 | 48 | 5.000 | 9 | 278 |
| 3 | 144 | 40 | 24 | 16 | 2.500 | 9 | 278 |
| 4 | 324 | 352 | 80 | 272 | 10.000 | 9 | 123 |
| 5 | 324 | 160 | 48 | 112 | 5.000 | 9 | 123 |
| 6 | 324 | 112 | 48 | 64 | 2.500 | 9 | 123 |
| 7 | 576 | 616 | 168 | 448 | 10.000 | 9 | 70 |
| 8 | 576 | 280 | 80 | 200 | 5.000 | 9 | 70 |
| 9 | 576 | 160 | 48 | 142 | 2.500 | 9 | 70 |

AP: Área de la parcela (m²); **PCP:** Plantas de café por parcela (total); **PCB:** Plantas de café en bordes por parcela; **PCEP:** Plantas de café efectivas por parcela; **DSC:** Densidad de siembra del café (plantas por hectárea); **ASP:** Árboles de sombrío por parcela; **DSS:** Densidad de siembra del sombrío (plantas por hectárea)

especies de sombrío; para un área total del campo experimental de 1,7 ha.

Prácticas agronómicas

Fertilización. Se basó en un plan de fertilización con fuentes de N, P, K, de acuerdo a los resultados de los análisis de suelos obtenidos para la localidad.

Manejo de arvenses. Se realizó con la frecuencia suficiente, de acuerdo al período climático seco o húmedo, para evitar su interferencia con el cultivo; igualmente, la metodología aplicada fue variable: plateos manuales, selector de arvenses y manejo mecánico en las calles, procurando realizar un Manejo Integrado de Arvenses (MIA).

Manejo integrado de la broca del café (MIB). Se efectuó de acuerdo a las recomendaciones dadas por Benavides y Arévalo (3).

Mantenimiento del componente arbóreo. Se realizaron podas periódicas de los árboles

de sombrío para mantener un porcentaje de sombra cercano al 42,0%, de acuerdo a la localidad.

Variables evaluadas. Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la producción de café se realizaron recolecciones periódicas de café cereza por parcela durante seis cosechas, los registros fueron transformados a kilogramos de café pergamino seco por hectárea, aplicando un factor de conversión 5:1, es decir, 5,0 kg de café cereza para obtener 1,0 kg de café pergamino seco.

Análisis de la información. Se realizaron análisis de varianza para determinar la significancia estadística en la interacción Densidad de siembra del sombrío x Densidad de siembra del café, y pruebas de comparación Tukey al 5,0% bajo el modelo para el diseño experimental utilizado (parcelas divididas), con el propósito de evaluar las diferencias entre medias de los tratamientos. Para determinar la densidad de siembra con la cual se obtiene la máxima producción del café en un sistema agroforestal se efectuaron

análisis de correlaciones, determinando la función de ajuste que en mayor grado explicara esta correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de las densidades de siembra del café y del sombrío.

Densidad de siembra del café. Los análisis de varianza a la producción acumulada de seis cosechas indicaron que la interacción Densidad de siembra del sombrío x Densidad de siembra del café fue significativa ($p < 0,05$), es decir, que los factores no tienen efectos independientes y que el nivel de producción está definido por la disponibilidad de luz para el cultivo. Las pruebas de comparación de Tukey al 5%, de la producción acumulada registrada, indican que al establecer el

café a 1,0 x 1,0 m (10.000 plantas/ha), es mayor la producción cuando el sombrío se establece a 9,0 x 9,0 m; bajo esta densidad de siembra del café y con el sombrío plantado a 278 y 70 árboles/ha no hubo diferencias estadísticas.

Para las densidades de siembra del café de 5.000 plantas/ha se presentaron diferencias estadísticas cuando el sombrío se estableció a densidades de 123 árboles/ha, al compararse con la producción obtenida con el sombrío establecido a 12,0 x 12,0 m. Si el café se establece en bajas densidades de siembra (2.500 plantas/ha), la producción es igual bajo cualquier nivel de sombra. En la caficultura, el establecimiento de las variedades adaptadas a las localidades, con ajustes a condiciones particulares, con adecuada nutrición y óptimas densidades de siembra, debe traducirse en altos rendimientos por unidad de área (11).

Tabla 4. Resultado de producción café pergamino seco ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

| DSC | Años | | | | | | Acumulado* |
|---|---------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | |
| Distancia de siembra del sombrío a 6,0 x 6,0 m | | | | | | | |
| 10.000 | 1.379 a | 4.461 a | 4.025 c | 5.053 b | 4.609 ab | 6.239 a | 25.765 b |
| 5.000 | 605 b | 2.714 b | 3.238 cd | 2.748 dc | 3.354 bc | 3.605 bc | 16.265 cd |
| 2.500 | 263 b | 1.120 c | 2.013 d | 2.033 de | 2.253 c | 2.220 c | 9.903 e |
| Distancia de siembra del sombrío a 9,0 x 9,0 m | | | | | | | |
| 10.000 | 1.515 a | 5.014 a | 6.773 a | 6.406 a | 6.233 a | 7.022 a | 32.963 a |
| 5.000 | 391 b | 2.598 b | 4.645 bc | 3.587 c | 5.171 ab | 5.342 ab | 21.733 bc |
| 2.500 | 156 b | 1.007 c | 2.122 d | 1.748 de | 3.480 bc | 3.656 bc | 12.170 de |
| Distancia de siembra del sombrío a 12,0 x 12,0 m | | | | | | | |
| 10.000 | 1.398 a | 3.891 ab | 5.882 ab | 3.504 c | 3.879 bc | 3.894 bc | 22.449 b |
| 5.000 | 367 b | 1.104 c | 4.177 c | 1.831 de | 4.159 abc | 3.910 bc | 15.547 de |
| 2.500 | 149 b | 495 c | 2.062 d | 1.180 4 | 3.150 bc | 3.029 c | 10.065 e |
| c. v. | 0,33 | 0,19 | 0,13 | 0,12 | 0,20 | 0,15 | 0,11 |

*Registros de producción por años y el acumulado con letras comunes no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

DSC. Densidad de siembra del café (plantas/ha)

Producción anual vs. Precipitación (mm).

En este estudio, el año 2010 presentó el período de máxima precipitación (Figura 1); para este año las producciones de café más altas se registraron en los sistemas de siembra de 10.000 plantas/ha, según la prueba de Tukey al 5% (Tabla 4).

En los años 2012 al 2014 hubo una disminución en la precipitación, comparados con los años 2009 al 2011; además, estos cambios en la precipitación estuvieron acompañados de un incremento en la temperatura máxima. Si bien, el comportamiento de la producción fue similar y la mayor producción se obtuvo con 10.000 plantas/ha, los rendimientos acumulados más altos se registraron con el sombrío establecido a 9,0 x 9,0 m (Tabla 4).

Para su máxima expresión en producción, el café requiere zonas con precipitaciones entre 1.800 y 2.000 mm anuales, acompañados de temperaturas entre 19,0 y 21,5°C. Las precipitaciones por debajo de los niveles de 1.450 mm (Figura 1), registradas en los años 2012 a 2014, pudieron haber generado una situación desfavorable para el café establecido con los árboles de sombrío a 12,0 x 12,0 m (la menor densidad de siembra del sombrío evaluada), favoreciendo la producción con un mayor número de árboles por hectárea.

De acuerdo con Arcila (2), en los primeros 30 cm de profundidad del suelo se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del café; lo que significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes. Adicionalmente plantea que una estrategia para reducir el estrés hídrico en el café es incrementar la densidad de siembra, pues se estimula el crecimiento vertical de la raíz obligándola a tomar agua de capas más profundas del suelo.

Densidad de siembra máxima del café.

De acuerdo a la Figura 2, la densidad de siembra del café y del sombrío con las que se obtiene la mayor producción fue de 10.000 plantas/ha con el sombrío establecido a 6,0 x 6,0 m, 9,0 x 9,0 m y 12,0 m x 12,0. Igualmente los resultados indican que hay una respuesta favorable en producción, al incremento en la radiación solar disponible para el cultivo. La producción máxima se alcanza con el café establecido con 10.000 plantas/ha y con el sombrío de *Inga edulis* (guamo santafereño) con 123 árboles/ha. Esto puede deberse a que al incrementar la densidad de siembra del café aumenta el Ca intercambiable, los macronutrientes, el C orgánico, el contenido de humedad del suelo y la colonización de raíces por hongos micorrízicos arbusculares; igualmente a estos resultados se le atribuyen a un mejor control de la erosión, mejoramiento en la gestión de los residuos de la planta y el ciclo de nutrientes, y la disminución de pérdidas por lixiviación, es decir, el aumento de población de árboles de café por unidad de área ha demostrado ser una estrategia de recuperación y mejoramiento de la fertilidad del suelo (10, 12, 13) y un regulador del microclima del cultivo.

Alcanzar altos niveles de producción mediante una caficultura intensiva en sistemas agroforestales (SAF), es factible si el caficultor dispone de los recursos humanos y económicos para el manejo de las plantaciones; una práctica fundamental en el manejo de altas densidades de siembra del café en SAF es el mantenimiento del nivel de sombrío dentro de los rangos óptimos. El café tolera disminuciones hasta del 45% de la radiación solar (5), sin sufrir reducciones en el crecimiento y en el índice de área foliar (IAF), reducciones superiores a este valor ocasionan una menor cobertura del suelo

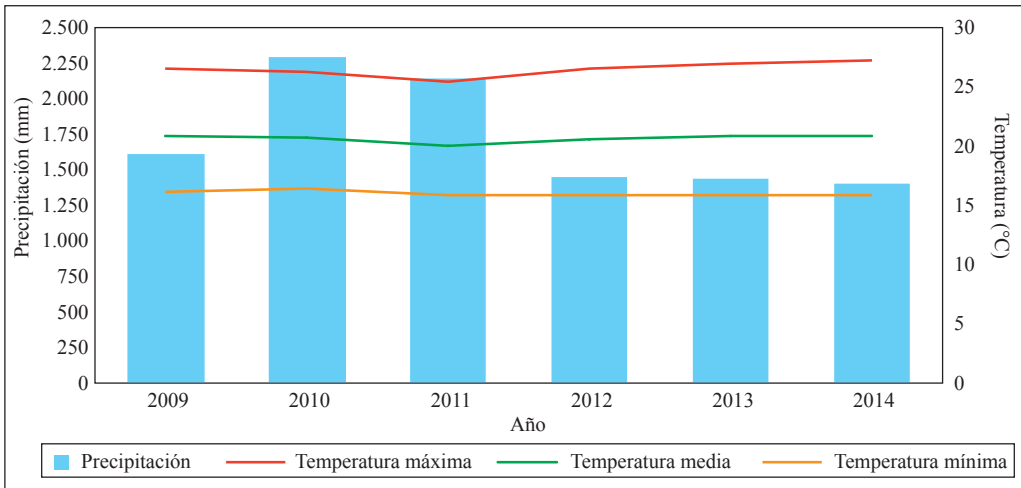


Figura 1. Precipitación, y temperatura máxima, media y mínima promedio anual (2009 a 2014); Estación Alberto Santos, municipio de El Socorro, Santander (Fuente: Anuarios Meteorológicos, Cenicafé 2009 a 2014).

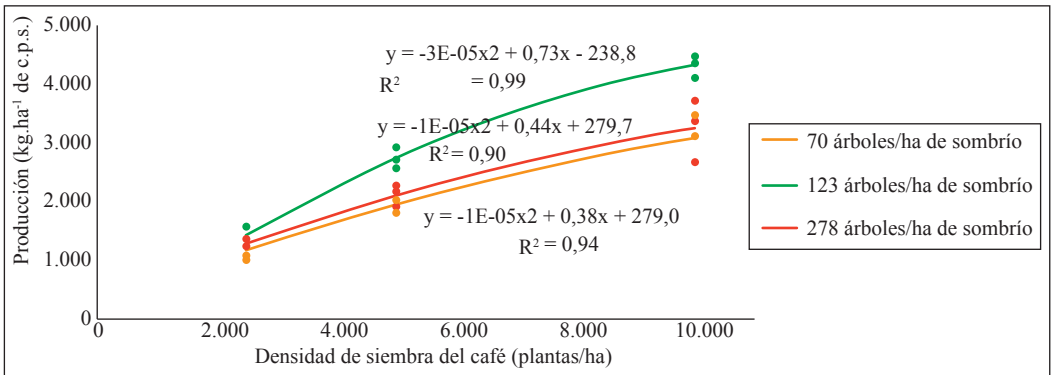


Figura 2. Promedio de producción de café, en tres densidades de siembra, bajo sombrío de *Inga edulis*. Finca Las Tapias, municipio de El Socorro-Santander.

por las plantas de café y como consecuencia una disminución en el crecimiento y en la producción (3). Adicionalmente, bajo estos sistemas de producción es fundamental la implementación de ciclos cortos de renovación, los planes de fertilización basados en los resultados de análisis de suelos, el manejo oportuno de broca del café y arvenses, entre otros.

En conclusión, la producción del café se ve afectada por la baja disponibilidad de agua en periodos secos y la baja cobertura arbórea en estos periodos, sometiéndolo a una condición de estrés hídrico; situación que puede corregirse incrementado la densidad de siembra del café y del sombrío. Éstas pueden ser estrategias de adaptación de los cultivos a la variabilidad climática, específicamente para eventos El Niño.

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan los más sinceros agradecimientos al señor José Ignacio Valenzuela Ramírez, a su esposa y sus hijos, propietarios de la Finca Las Tapias, ubicada en la vereda Hoya de San José, municipio del Socorro, departamento de Santander, por su dedicación, entrega y responsabilidad en el establecimiento, desarrollo de la investigación y manejo de la información.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO A., G.; POSADAS., H.E., CORTINA G., H.A. Castillo: Nueva variedad de café con resistencia a la roya. Manizales : Cenicafé, 2005. 8 p. (Avances Técnicos No. 337).
2. ARCILA P., J. Densidad de siembra y productividad de los cafetales. p. 131-147. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Manizales : CENICAFÉ, 2007. 309 p.
3. BENAVIDES M., P.; ARÉVALO, M. Manejo integrado: Una estrategia para el control de la broca del café en Colombia. Cenicafé 53(1):39-48. 2002.
4. RIGHI, C.A.; SILVEIRA B., M.; PEREIRA L., A.M.; RODRIGUES P., C.; DOURADON, D.; FAVARIN, J.L. Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. Revista árvore 31(2):195-207. 2007.
5. DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. Brazilian journal of plant physiology 19(4):485-510. 2007.
6. FARFÁN V., F.F.; JARAMILLO R., A. Sombrío para el cultivo del café según la nubosidad de la región. Manizales : Cenicafé, 2009. 8 p. (Avances Técnicos No. 379).
7. HALL, A.J. Los componentes fisiológicos del rendimiento de los cultivos. Facultad de agronomía universidad de Buenos Aires 1(1):73-86. 1980.
8. HERGOUALC'H, K.; SKIBA, U.; HARMAND, J.M.; HÉNAULT, C. Fluxes of greenhouse gases from andosols under coffee in monoculture or shaded by *Inga densiflora* in Costa Rica. Biogeochemistry 89(3):329-345. 2008.
9. LOPES S., E.; SCALCO, M.E.; GUIMARÃES, R.J.; COLOMBO, A.; RAMALHO DE M., A.; MESQUITA DE C., C.H. Production functions of irrigated coffee under different planting densities. Coffee science 8(2):149-157. 2013.
10. LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A.; HALL, A.E. Agricultural productivity. Annual review of plant physiology 22:431-468. 1971.
11. PARREIRAS P., S.; FERREIRA B., G.; PEREIRA B., D.; MOREIRA S., F.; GUIMARÃES, R.J. Growth, productivity and bienniality of coffee plants according to cultivation spacing. Pesquisa agropecuária brasileira 46(2):152-160. 2011.
12. PAULO, E.M.A.; FURLANI, E.B., JR. Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. Scientia agricola 67(6):720-726. 2010.
13. PAVAN, M.A.; DIAS C., C.J.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIO L.F., A.; COLOZZI F., A.; BALOTA, E.L. High coffee population density to improve fertility of an oxisol. Pesquisa agropecuária brasileira 34(3):459-465. 1999.
14. SAKAI, E.; AGNELLOS B., E.A.; CARVALHOS, J.M. DE; MATOS P., R.C. DE. Coffee productivity and root systems in cultivation schemes with different population arrangements and with and without drip irrigation. Agricultural water management 148(31):16-23. 2015.
15. SAKAI, E.; BARBOSAJ., E.A.; SILVEIRA, A.; PIRES, R. *Coffea arabica* (cv Catuai) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. Engenharia agrícola 33(1):145-156. 2013.
16. SILES, P.; HARMAND, J.M.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. Agroforestry systems 78(3):269-286. 2010.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE AGUA OZONIZADA COMO TÉCNICA DE CONSERVACIÓN DEL CAFÉ PERGAMINO HÚMEDO

Jenny Paola Pabón Usaquén*, Aída Esther Peñuela Martínez*

PABÓN U., J.P.; PEÑUELA M., A.E. Efecto de la aplicación de agua ozonizada como técnica de conservación del café pergamino húmedo. Revista Cenicafé 67 (1): 63-72. 2016

En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación de agua ozonizada como técnica de conservación de café pergamino húmedo sobre su calidad física y sensorial. El estudio contó con un diseño experimental completamente aleatorizado 2x4+1 con dos factores (enjuague con agua ozonizada y sin ozonizar), cuatro tiempos de espera antes del secado (24, 48, 72 y 96 h) y un testigo. Las variables de respuesta fueron el porcentaje de almendra sana, pérdida de materia seca, puntaje total en taza y porcentaje de taza limpia. Se realizó una ANAVA al 95% y la prueba DMS de Fisher al 5% con cada una de las variables evaluadas. No hubo diferencias significativas en el porcentaje de almendra sana y en la pérdida de materia seca, ni en las variables asociadas a la calidad en taza: porcentaje de taza limpia y puntaje total, que se obtuvieron en los tratamientos en los que no se aplicó ozono. Se determinó que cuando se aplica agua ozonizada diariamente en una concentración de 0,2 mg.L⁻¹ por 15 min., se controla la calidad sensorial del café húmedo durante el almacenamiento.

Palabras clave: Calidad física, calidad sensorial, materia seca, taza limpia.

EFFECT OF OZONATED WATER APPLICATION AS A CONSERVATION TECHNIQUE OF WET PARCHMENT COFFEE

In this study, the effect of the application of ozonated water as a conservation technique of wet parchment coffee on physical and sensory quality was evaluated. The study had a completely randomized design 2x4+1 with two factors (rinsing with ozonated water and rinsing with non-ozonated water), four waiting times before drying (24, 48, 72 and 96 h) and a control. The response variables were percentage of healthy cherries, dry matter loss, total cup score and percentage of clean cup. An ANOVA 95% and a Fisher's LSD test were done at 5% with each of the evaluated variables. There were no significant differences in the percentage of healthy cherries and loss of dry matter or variables associated with cup quality: percentage of clean cup and total score obtained in the treatments in which no ozone was applied. It was determined that when ozonated water is applied daily at a concentration of 0.2 mg.L⁻¹ 15 min., the sensory quality of wet coffee is controlled during storage.

Keywords: Physical quality, sensory quality, dry matter, clean cup.

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

La calidad del café es el criterio fundamental en el proceso de comercialización y se define por medio de dos factores: físico y sensorial del producto (6, 9). Entre los atributos que se evalúan en la calidad física, se encuentran la humedad final del pergamino seco y los defectos físicos presentes en el café almendra. La calidad sensorial se determina por medio de una prueba denominada prueba de taza, en la cual un panel de catación entrenado evalúa las características organolépticas de la bebida y califica la muestra dependiendo de la escala utilizada en la evaluación (26). No obstante, la calidad final del café está determinada por la interacción de varios factores, que van desde la variedad de semilla sembrada, las condiciones climatológicas y las prácticas agrícolas durante el cultivo, el tipo y las prácticas de beneficio utilizadas, y el proceso de tostación, entre otros (19, 22, 25). El caficultor en cada finca, se encarga de realizar el beneficio hasta obtener el café pergamino seco que vende a centrales particulares ó las Cooperativas de Caficultores, las cuales se encargan de continuar con el proceso de trilla y posterior comercialización (8); sin embargo, en los últimos años se ha venido incrementado la venta del café lavado (18), con una humedad aproximada de 52% (15). Por lo anterior algunas centrales de compra y cooperativas implementaron instalaciones de recibo y almacenamiento para el café húmedo y acondicionaron silos para realizar el secado y disminuir la humedad a valores en los cuales sea seguro el almacenamiento (7). En este estado la actividad de agua es de aproximadamente 0,97 (23), valor propicio para la proliferación de microorganismos, los cuales afectan la inocuidad y la calidad física que se ve reflejada en la pérdida de materia seca y la calidad sensorial del café (21). Por lo anterior, se hace necesario evaluar técnicas de conservación, complementarias

al secado, que sean factibles para ser utilizadas en las centrales de compra y mantener la inocuidad y la calidad del café durante el almacenamiento.

La aplicación de agua ozonizada es una técnica que ha sido utilizada como desinfectante y ha obtenido óptimos resultados en diferentes productos agrícolas como tomates(13), fresas (24), manzanas (11) y granos de trigo (4), entre otros. Esta técnica se caracterizó y se evaluó como desinfectante sobre el café sometido a almacenamiento; sin embargo, se desconoce el efecto que tenga sobre la calidad del producto. Este trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de agua ozonizada en la conservación de café pergamino húmedo durante el almacenamiento sobre su calidad física, sensorial y pérdida de materia seca. Adicionalmente, se estimó la carga orgánica del efluente determinando la demanda química de oxígeno en los tratamientos evaluados, debido al consumo de agua en la aplicación de la técnica propuesta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó café Variedad Castillo® proveniente de la Estación Experimental Naranjal ubicada en la vereda la Quebra de Chinchiná (Colombia) y el procesamiento se realizó en el beneficiadero experimental del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, ubicado en Manizales, a una altitud de 1.310 m, con un promedio de temperatura anual de 21,2°C. En el módulo para procesar semilla se realizaron los siguientes procesos: clasificación hidráulica de los frutos, despulpado, clasificación por tamaño y limpieza del café despulpado. La remoción del mucílago se llevó a cabo en canecas plásticas, donde se adicionó enzima pectinolítica con el objetivo de obtener el café listo para lavar, en un tiempo aproximado de 3,0 h (20). El lavado y clasificación se

realizó en el canal de correteo. Del café lavado se tomaron tres muestras de forma aleatoria, una se secó de forma inmediata (testigo) y las otras dos, de 15 kg cada una, se depositaron en una caneca plástica con capacidad de 50 L para iniciar con el tiempo de espera antes del secado, el cual se realizó en el laboratorio de la disciplina de Ingeniería Agrícola, con una temperatura controlada por medio de un sistema de aire acondicionado a $20 \pm 2,0^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $80\% \pm 3,0\%$. Los valores de humedad relativa y temperatura del cuarto se registraron y almacenaron por medio de un registrador de datos digital. Se aplicó un diseño experimental completamente aleatorizado $2 \times 4 + 1$, con dos factores (enjuague con agua ozonizada y sin ozonizar), cuatro niveles (tiempos de espera antes del secado) y un testigo, se realizaron cinco repeticiones de cada tratamiento. Para los tratamientos uno al cuatro se aplicó la técnica de agua ozonizada diariamente, con una concentración de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de ozono, por un tiempo de 15 min.; para producir el ozono se utilizó un generador Bionic (Bionic®, Tecnología en bioseguridad y medioambiente, Colombia) el cual se aplicó durante 10 min. a 5,0 L de agua para obtener agua ozonizada para lavar el café pergamino húmedo cada 24 h hasta 96 h, según el tratamiento. Cada vez que se aplicó el ozono al agua, se verificó de forma rápida la concentración con el *kit* OZ-2 marca Hach®. El secado de las muestras obtenidas en todos los tratamientos se realizó en un secador parabólico hasta que la humedad final estuviera en el rango de 10% al 12%. Para verificar el contenido de humedad final, se utilizó el medidor de humedad para granos portátil marca Kett® PM 410, con una precisión de $\pm 0,5\%$.

Calidad: Las muestras de café pergamino seco se enviaron al Laboratorio Ritual del Café del Comité Departamental de Cafeteros de Caldas, ubicado en el Recinto

del Pensamiento de Manizales, Caldas, donde se realizaron los análisis físicos y sensoriales, después de mínimo 30 días de almacenamiento. El panel estaba compuesto por tres catadores certificados con Q-grader. Los análisis se realizaron siguiendo el protocolo establecido por la Asociación de Cafés Especiales de América, SCAA (por sus iniciales en inglés).

Calidad física: Para el análisis físico se tomó una submuestra de 250 g de café pergamino seco, se evaluó la humedad final, posteriormente se trilló para obtener el café almendra, en el cual se seleccionaron los defectos presentes y por relación de pesos, se obtuvo el porcentaje de almendra sana, el porcentaje de granos brocados y pasillas.

Calidad sensorial: Para la evaluación de la calidad en taza la SCAA considera los siguientes atributos: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia y dulzor. A cada característica se le asigna un valor entre una escala de 0-10 y el puntaje total corresponde a la sumatoria la calificación obtenida en cada una de las características (26).

Pérdida de materia seca: Se determinó por medio de balance de masa y estimando la humedad en cada tratamiento. Para determinar la humedad inicial del café pergamino húmedo y la de cada tratamiento, se utilizó el método de la estufa a 105°C por 16 h, según Norma ISO (14).

Carga orgánica del efluente: Se tomaron muestras de agua obtenidas en todos los tratamientos y se determinó la DQO por el método de reflujos cerrado, método colorimétrico desarrollado por la HACH (12), utilizando un espectrofotómetro HACH referencia DR-2000 y una longitud de onda de 620 nm para los viales de rango

de 0 a 1.500 mg.L⁻¹ (12). Adicionalmente, se midió el pH, utilizando un pH metro digital marca Schott® (Schott® Instruments®, Alemania).

Análisis de la información: Las variables de respuesta fueron: porcentaje de almendra sana, porcentaje de taza limpia, puntaje total en taza, porcentaje de pérdida de materia seca y demanda química de oxígeno. Se realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% seguido por una prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) de Fisher para establecer la existencia de diferencias en las variables evaluadas. Se utilizó el programa Statgraphics versión 5.1 (STATGRAPHICS®, EUA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad del café

Calidad física: La humedad final del café fue de 11,25% en promedio, con un valor máximo de 12,0% y un mínimo de 10,1%, valores que cumplen con el criterio establecido para la comercialización del café pergamino seco (17). En promedio, la cantidad granos negros y vinagres fue de 0,4% para el testigo, de 0,31% para los tratamientos en los cuales el café se lavó diariamente con agua ozonizada y de 0,43% para los tratamientos en los que no se utilizó ozono (Tabla 1), todos los valores de granos negros y vinagres cumplen con el criterio establecido, al no ser mayores al 1,5%.

El análisis de varianza no presentó efecto de tratamientos (valor *p*: 0,7833), es decir, no hubo diferencias significativas entre los valores promedio de almendra sana obtenidos en los tratamientos. Sin embargo, la apariencia y el olor desagradable que presentaron los tratamientos 6, 7 y 8, se controló cuando se aplicó la técnica de agua ozonizada durante

los 4 días de almacenamiento, debido a las propiedades desodorizantes que tiene el ozono (1).

Calidad sensorial: En las muestras del café testigo se obtuvo el 100% de taza limpia, lo que se debe principalmente al adecuado proceso de beneficio e inicio del secado de forma inmediata, varios autores reportan que de esta forma logra controlarse la calidad final del producto (2, 3, 19, 25). El análisis de varianza presentó efecto del tratamiento en las variables porcentaje de taza limpia (valor *p*: 0,0482) y puntaje total en taza (valor *p*: 0,0366). El tratamiento en el cual no se utilizó agua ozonizada y se almacenó por 72 h, obtuvo el menor valor para las dos variables, con presencia de los defectos fenol, terroso e inmaduro, asociados a malas prácticas de almacenamiento. Sin embargo, como se observa en la Figura 1, en los tratamientos en los cuales se utilizó ozono durante el almacenamiento, los valores del porcentaje de taza limpia son más estables que cuando no se aplica agua ozonizada, es decir, se mantiene la calidad sensorial durante el almacenamiento del café pergamino húmedo.

En los tratamientos donde se almacenó el café por 24 h y se aplicó agua ozonizada y sin ozonizar, la calificación obtenida para el puntaje total entre las dos prácticas fue igual (Figura 2), lo que se explica debido a que la aplicación de los tratamientos inició después de 24 h de almacenamiento.

Cuando se aplica agua ozonizada diariamente, en una concentración de 0,2 mg.L⁻¹ y con un tiempo de aplicación de 15 min., se logra mantener la calidad sensorial del café pergamino húmedo durante 4 días de almacenamiento. Nascimento *et al.* (16), aplicaron agua ozonizada a café despulpado durante el proceso de fermentación natural, en una concentración de 3,5 mg.L⁻¹ durante 30

Tabla 1. Valores promedio, mínimo y máximo de los atributos de la calidad física de las muestras de café obtenidas en los tratamientos y el testigo.

| Atributo | Rangos de referencia | Tratamientos | | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|--------------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | | Testigo | | | Aplicación agua ozonizada | | | Aplicación agua sin ozonizar | | |
| | | Prom. | Mín. | Máx. | Prom. | Mín. | Máx. | Prom. | Mín. | Máx. |
| Contenido de humedad (%) | 10%-12% | 11,28% | 10,9% | 11,6% | 11,3% | 10,1% | 11,9% | 11,2% | 10,2% | 12% |
| Pasillas (%) | <5,5% | 6,7% | 5,2% | 8,4% | 6,6% | 3,3% | 9,9% | 6,9% | 10,0% | 5,1% |
| Grano negro y vinagre (%) | <1,5% | 0,4% | 0% | 0,9% | 0,3% | 0,0% | 1,7% | 0,4% | 0,0% | 2,2% |
| Broca (%) | <1,0% | 3,1% | 0,24% | 7,8% | 3,0% | 0,0% | 10,7% | 4,0% | 0,5% | 13,6% |

Tabla 2. Valores promedio, máximo y mínimo obtenidos para el porcentaje de almendra sana en el testigo y los tratamientos.

| Tratamiento | Tiempos de almacenamiento (h) | Práctica | Mínimo | Promedio | Máximo |
|-------------|-------------------------------|-------------------|--------|----------|--------|
| Testigo | - | Secado inmediato | 68,60% | 74,30% | 78,24% |
| 1 | 24 | Agua ozonizada | 69,80% | 74,71% | 79,80% |
| 2 | 48 | | 65,72% | 73,43% | 77,32% |
| 3 | 72 | | 67,12% | 73,54% | 77,68% |
| 4 | 96 | | 72,96% | 76,90% | 79,48% |
| 5 | 24 | Agua sin ozonizar | 65,16% | 72,30% | 76,76% |
| 6 | 48 | | 66,40% | 73,14% | 78,00% |
| 7 | 72 | | 63,96% | 72,45% | 76,96% |
| 8 | 96 | | 73,56% | 76,18% | 77,36% |

min., y no registraron diferencias significativas cuando compararon la calidad sensorial obtenida en el café con la aplicación de ozono y el café sin ozonizar. Lo anterior demuestra que además del efecto desinfectante, éste no deja residuos desagradables que afecten la calidad sensorial de la bebida. El 95% de las muestras obtenidas de los tratamientos donde se aplicó agua ozonizada hasta las 96 h de almacenamiento, obtuvieron un puntaje total mayor a 75 puntos, que clasifica al café como de calidad usual buena y la mayor proporción (65%) lo describe como muy bueno y lo clasifica para una bonificación. A diferencia de lo obtenido en los tratamientos donde no se le aplicó agua ozonizada al café

pergamino húmedo, solamente el 75% de las muestras tuvieron una calificación mayor a 75 puntos y una proporción de 35% que lo clasifica en el rango más bajo. Peñuela y Oliveros (21) reportaron resultados similares en muestras de café pergamino húmedo recolectados en diferentes puntos de compra de cuatro departamentos donde se realiza esta modalidad de comercialización, en este muestreo, el 32,4% de las muestras obtuvieron un puntaje total menor a 60 puntos. Para verificar si la calidad se mantenía después del almacenamiento del café pergamino seco, se realizaron pruebas de calidad sensorial, después de 45, 90 y 180 días, las muestras se almacenaron en el Laboratorio del Ritual del

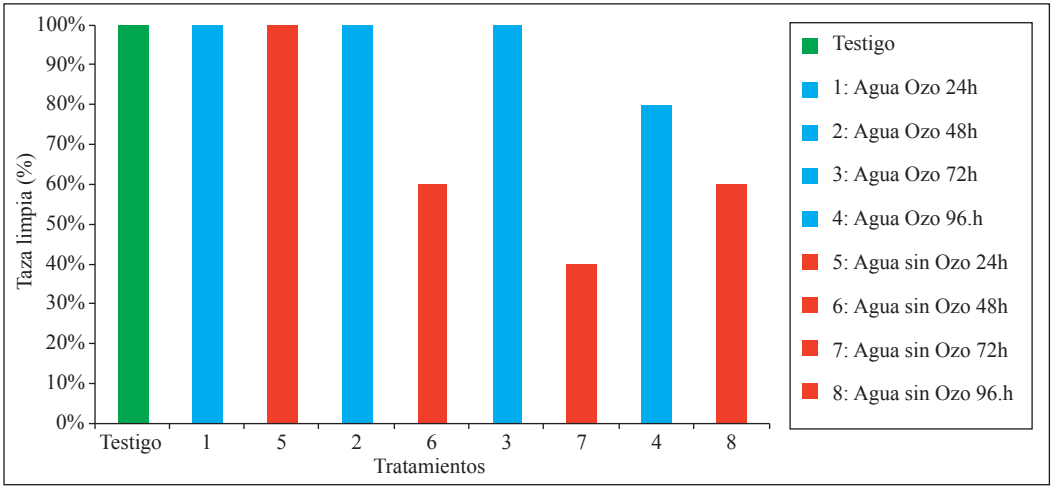


Figura 1. Valores de porcentaje de taza limpia obtenidos para todos los tratamientos.

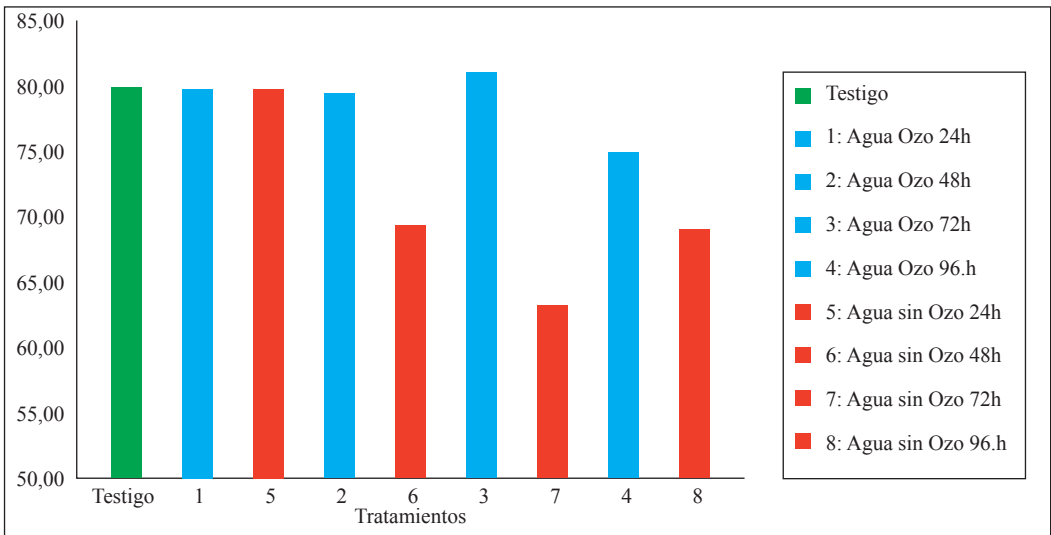


Figura 2. Puntaje total obtenido para el testigo y los tratamientos.

Café, a una temperatura promedio de 18°C, máxima de 24°C y mínima de 13°C, con humedad relativa de 78% en promedio. Sólo se repitieron los análisis a las muestras que no habían presentado defecto inicialmente. Se presentaron los defectos fermento y terroso

a los 90 y 180 días en los tratamientos 6 y 4, respectivamente. Con lo anterior se confirma que la aplicación de ozono, aunque es un potente oxidante no afecta la calidad sensorial del café hasta después de 180 días de almacenamiento del café pergamino seco.

Pérdida de materia seca: La pérdida de materia seca es un factor determinante para la estimación de pérdidas económicas durante el proceso de comercialización y es uno de los componentes más importantes en el deterioro del grano. La pérdida de materia seca se atribuye a la respiración que consume la composición interna del grano, en trabajos realizados previamente se ha estimado que durante el almacenamiento del café pergamino húmedo bajo agua o sin agua se tienen pérdidas de materia seca hasta del 3,0% (21). Los mayores valores en promedio se presentaron en los tratamientos donde se almacenó el café por 24 h, lo que puede explicarse porque en las primeras 24 h no se aplicó algún enjuague (Tabla 3). El análisis de varianza no mostró efecto de tratamientos (valor p : 0,1179), es decir, la aplicación de agua ozonizada no influyó en esta variable, debido principalmente a que la técnica es un desinfectante y todos los tratamientos fueron almacenados el mismo tiempo en las mismas condiciones.

Carga orgánica obtenida en el agua: El ozono es ampliamente utilizado en las últimas etapas del proceso para la desinfección del agua, gracias a su poder oxidante que destruye

los microorganismos presentes en el agua (5, 10). En la Figura 3 se presentan los valores promedio para la demanda química de oxígeno del agua que se utilizó en todos los tratamientos.

El análisis de varianza mostró efecto de los tratamientos (valor p : 0,025). En la Tabla 4 se presentan los tratamientos que tuvieron diferencias significativas según el método DMS de Fisher. Los valores de carga orgánica disminuyeron a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, debido al lavado diario del café y a que la aplicación de los tratamientos inició después de 24 h.

El pH del agua utilizada para los enjuagues de los tratamientos fue de 7,64 en promedio, con un máximo de 7,85 y un mínimo de 7,1. Los valores de pH del agua obtenidos después del enjuague de los tratamientos se presentan en la Tabla 5. El análisis de varianza mostró efecto entre los tratamientos (valor p : 0,003); cabe resaltar que los tratamientos en los que se almacenó café por 24 h lavando el café con agua ozonizada y sin ozonizar presentaron los valores más bajos de pH comparados con los otros tratamientos. Es decir, cuando se aplicó agua ozonizada

Tabla 3. Valores promedio, máximo y mínimo de porcentaje de materia seca obtenida durante el almacenamiento del café pergamino húmedo en cada tratamiento.

| Tratamiento | Tiempos de almacenamiento (h) | Práctica | Pérdida de materia seca | | |
|-------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------|----------|--------|
| | | | Mínimo | Promedio | Máximo |
| 1 | 24 | Agua ozonizada | 0,15% | 1,54% | 2,60% |
| 2 | 48 | | 0,42% | 0,87% | 1,46% |
| 3 | 72 | | 0,20% | 0,66% | 1,01% |
| 4 | 96 | | 0,14% | 0,77% | 1,33% |
| 5 | 24 | Agua sin ozonizar | 0,29% | 1,74% | 3,28% |
| 6 | 48 | | 0,21% | 0,77% | 1,55% |
| 7 | 72 | | 0,03% | 0,53% | 1,55% |
| 8 | 96 | | 0,51% | 1,29% | 2,92% |

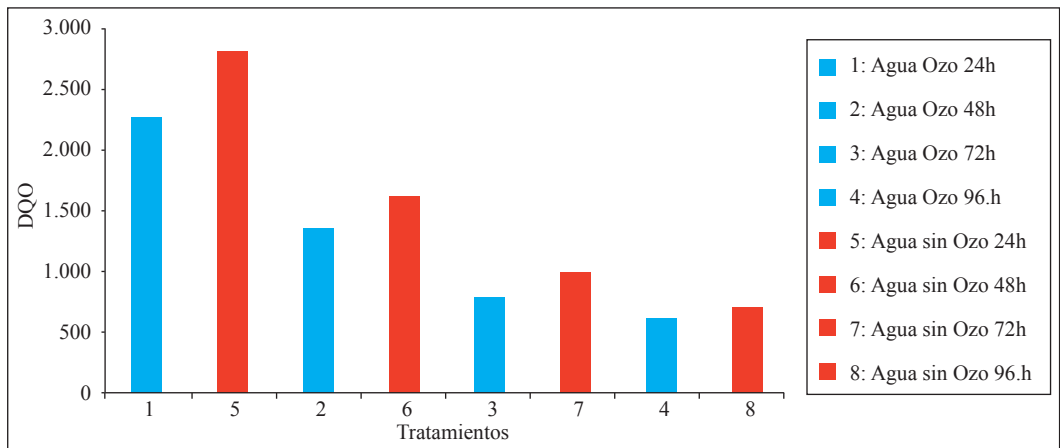


Figura 3. Valores de la demanda química de oxígeno (DQO) obtenido para el agua utilizada en los tratamientos.

Tabla 4. Tratamientos que presentaron diferencias significativas en DQO según la prueba DMS de Fisher.

| Comparación Tratamientos | Sig. | Diferencia (mg.L ⁻¹) | Conclusión |
|--------------------------|------|----------------------------------|---|
| 1 - 2 | * | 908,0 | En el tratamiento 1 se obtuvo mayor DQO que en los tratamientos 2, 3, 4, 7 y 8 |
| 1 - 3 | * | 1.474,0 | |
| 1 - 4 | * | 1.637,0 | |
| 1 - 7 | * | 1.267,0 | |
| 1 - 8 | * | 1.560,0 | |
| 2 - 4 | * | 729,0 | En el tratamiento 2 se obtuvo mayor DQO que en el 4 |
| 5 - 2 | * | 1.454,0 | En el tratamiento 5 se obtuvo mayor DQO que en los tratamientos 2, 3, 4, 6, 7 y 8 |
| 5 - 3 | * | 2.020,0 | |
| 5 - 4 | * | 2.183,0 | |
| 5 - 6 | * | 1.192,0 | |
| 5 - 7 | * | 1.813,0 | |
| 5 - 8 | * | 2.106,0 | |
| 6 - 3 | * | 828,0 | En el tratamiento 6 se obtuvo mayor DQO que en los tratamientos 3, 4 y 8 |
| 6 - 4 | * | 991,0 | |
| 6 - 8 | * | 914,0 | |

Tratamientos: 1: Agua ozonizada 24 h; 2: Agua ozonizada 48 h; 3: Agua ozonizada 72 h; 4: Agua ozonizada 96 h; 5: Agua sin ozonizar 24 h; 6: Agua sin ozonizar 48 h; 7: Agua sin ozonizar 72 h; 8: Agua sin ozonizar 96 h. Sig.: significativa.

y sin ozonizar se presentó mayor acidez en las primeras 24 h de almacenamiento, debido a la carga orgánica que presentaba el café húmedo en el primer período de almacenamiento.

Finalmente, se determinó la calidad sensorial y física del café cuando se utiliza como técnica de conservación agua ozonizada sobre café pergamino húmedo. Se estimó que cuando se utiliza ozono, la calidad sensorial

Tabla 5. Valores promedio obtenidos para el pH después del enjuague para cada tratamiento.

| Tiempos de almacenamiento (h) | Práctica | Tratamientos | Valor de pH |
|-------------------------------|-------------------|--------------|-------------|
| 48 | Agua ozonizada | 1 | 5,80* |
| 72 | | 2 | 6,59 |
| 96 | | 3 | 6,83 |
| 24 | | 4 | 7,13 |
| 48 | Agua sin ozonizar | 5 | 5,81* |
| 72 | | 6 | 6,57 |
| 96 | | 7 | 6,97 |
| 96 | | 8 | 6,85 |

*indica valores con diferencia significativa en relación con los promedios obtenidos en los tratamientos, según prueba OMS al 5%.

cuantificada por el puntaje total en taza y el porcentaje de taza limpia se mantiene hasta por 96 h de almacenamiento. Las variables porcentaje de almendra sana y pérdida de materia seca no presentaron diferencias significativas; es decir, la aplicación diaria de agua ozonizada con una concentración de 0,2 mg.L⁻¹ por un tiempo de 15 min., es efectiva para mantener la calidad sensorial del café pergamino húmedo almacenado hasta por 4 días, sin generar un aumento en la carga orgánica.

Se verificó que el ozono no tiene efectos perjudiciales que alteren la calidad sensorial del café hasta después de 90 días de almacenamiento del café pergamino seco. Por lo anterior, la técnica de ozonización del café podría utilizarse como una alternativa de conservación de este producto por tiempos de espera para el secado no mayor a 4 días, sin implicar mayores cambios en la infraestructura de las centrales de compra, dado que utilizan el almacenamiento bajo agua, con riesgos sobre la calidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Nacional de Investigaciones de Café- Cenicafé, y al Departamento Administrativo de Ciencia,

Tecnología e Innovación-Colciencias, por la financiación del proyecto. Igualmente, los autores expresan su agradecimiento a la doctora Carmen Dussán, profesora del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Caldas por su asesoría estadística, a la ingeniera Valentina Osorio del Comité Departamental de Cafeteros de Caldas por la ejecución de las pruebas físicas y sensoriales del café, y al auxiliar Farid López por su colaboración durante la ejecución de las pruebas.

LITERATURA CITADA

1. BELTRAN, D.; SELMA, M.; MARÍN, A.; GIL, M. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *Journal of agricultural and food chemistry* 53(14):5654-5663. 2005
2. CENICAFÉ. Fundamentos del beneficio del café. Manizales : Cenicafé, 1991. 257 p.
3. CLEVES S., R. Tecnología en beneficiado de café. 2a. ed. San José de Costa Rica : Cléves y Faith, 1998. 223 p.
4. DHILLON, B.; WIESENBORN, D.; WOLF H., C.; MANTHEY, F. Development and evaluation of an ozonated water system for antimicrobial treatment of durum wheat. *Journal of food science* 74(7): E396-E403. 2009.
5. EPA. Alternative disinfectants and oxidants: Guidance manual. [New York] : EPA, 1999. 328 p.

6. Federación Nacional de Cafeteros - FNC. La calidad del café: Federación nacional de Cafeteros. Manizales : Comité departamental de cafeteros de Caldas, 2004. 10 p.
7. Federación Nacional de Cafeteros - FNC. El comportamiento de la industria cafetera colombiana durante 2009. Bogotá : FNC, 2009. 61 p.
8. Federación Nacional de Cafeteros - FNC. Sostenibilidad en acción 1927-2010: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá : FNC, 2011. 175 p.
9. FREITAS, R.F. Fungos asociados a grãos de café (*Coffea arabica* L.) beneficiado de diversos municípios da região sul de Minas Gerais. Lavras : Universidad Federal de Lavras, 2000. 78 p.
10. GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J.A.; SAUPE, A. Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications. [New Jersey] : Wiley vch, 2009. 378 p.
11. GRAHAM, D.M. Ozone antimicrobial applications in food processing. California : Ozone III conference, 2002.
12. HACH COMPANY. DR/2000 Spectrophotometer: Procedures Manual. Colorado : HACH, 1988. 394 p.
13. HAMPSON, B.; MCLEAN, M. Impact of ozonation on the nutritional quality and microbial load of fresh-market tomatoes in IOA/PAG Vancouver : Conference Vancouver, 1998.
14. ISO. Green coffee determination of loss mass at 105°C. [Ginebra] : ISO, 1999. 4 p.
15. MONTILLA P., J.; ARCILA P., J.; ARISTIZABAL L., M.; MONTOYA R., E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENA G., G. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé* 59(2):120-142. 2008.
16. NASCIMENTO, L.C.; LIMA, L.C.; PICOLLI, R.; FIORINI, J.; DUARTE, S.; SILVA, J.M.; OLIVEIRA, N.; VEIGA, S. Ozonio e ultra-som: Processos alternativos para o tratamento do café despulpado. *Ciência e tecnologia de alimentos* 28(2):282-294. 2008.
17. OIC. Directrices para prevenir la formación de moho en el café. London : OIC, 2006. 28 p.
18. OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; SANZ U., J.R.; RAMÍREZ, C. Primer encuentro nacional de comercialización de café húmedo. Manizales : Cenicafé, 2009. 31 p.
19. PEÑUELAM., A.E. Estudio de la remoción del mucilago de café a través de fermentación natural. Manizales : Universidad de Manizales, 2010. 81 p. Tesis maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente.
20. PEÑUELA M., A.E.; PABÓN U., J.P.; OLIVEROS T., C.E. Enzimas: Una alternativa para remover rápida y eficazmente el mucilago del café. Manizales : Cenicafé, 2011. 8 p. (Avances Tecnicos No. 406).
21. PEÑUELAM., A.E.; OLIVEROS T., C.E. Evaluación de técnicas de conservación del café húmedo: Informe. Manizales : Cenicafé, 2013. 70 p.
22. PUERTA Q., G.I. El beneficio y la calidad del café. Manizales : Cenicafé, 1995. 45 p.
23. PUERTA Q., G.I. La humedad controlada del grano preserva la calidad del café. Manizales : Cenicafé. 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 352).
24. RICE, R.G.; GRAHAM, C. Ozone as antimicrobial agent for the treatment, storage and processing of food in the gas and aqueous phases supporting of data for a food additive petition. *World ozone congress* 15:29-32. 2001.
25. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ALVAREZ G., J.; RAMIREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; DAVILA A., M.T.; ALVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRIGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Manizales : Cenicafé, 1999. 273 p.
26. SCAA. El manual de catación del programa de cafés especiales de Colombia. California : Specialty coffee association of America, 2004. 30 p.

HEMIPTERA: COCCOIDEA DE LAS RAÍCES DEL CAFÉ Y SUS PARASITOIDES EN EL VALLE DEL CAUCA

Zulma Nancy Gil Palacio*, Pablo Benavides Machado*, Luis Miguel Constantino Chuaire*

GIL P., Z. N.; BENAVIDES M. P.; CONSTANTINO C., L. M. Hemiptera: Coccoidea de las raíces del café y sus parasitoides en el Valle del Cauca. Revista Cenicafé 67 (1): 73-80. 2016

Los insectos del orden Hemiptera, superfamilia Coccoidea, son un grupo de interés por su impacto en la agricultura; en café son el segundo problema de plagas más importante, causando pérdidas económicas. Con el fin de conocer la situación actual de los insectos de la superfamilia Coccoidea ubicados en las raíces del café y sus agentes naturales de control, se realizó un diagnóstico en el departamento del Valle del Cauca (Colombia), en 85 fincas con lotes menores de dos años de edad, las cuales fueron seleccionadas aleatoriamente en el Sistema de Información Cafetera (SICA), con un error de estimación del 10%. Se hizo un reconocimiento de síntomas (amarillamiento y muerte de árboles) y la recolección manual de los cocoideos en las raíces de diez árboles por finca. Las muestras se depositaron en viales con etanol al 76% y se rotularon. En el laboratorio, por cada finca se procesaron las muestras recolectadas y sus endoparasitoides. Se registró un 56,4% de fincas con cafetales infestados, con un error de muestreo del 10,8%. El 75,2% de los árboles con síntomas tenían en las raíces insectos de la superfamilia Coccoidea, con un intervalo de confianza de 17,8. La especie *Puto barberi* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Putoidae) fue predominante (43,5%). Se registraron los primeros hallazgos en Colombia de parasitoides de *P. barberi* en café y de los géneros *Hambletonia* y *Aenasius* cercano a *bolowi* (Hymenoptera: Encyrtidae).

Palabras clave: *Coffea* sp., control biológico, control natural, Encyrtidae, Putoidae.

HEMIPTERA: COCCOIDEA ON COFFEE ROOTS AND THEIR PARASITOIDS IN THE DEPARTMENT OF VALLE DEL CAUCA

The Insects of the order Hemiptera, superfamily Coccoidea, are a group of interest for its impact on agricultural activities, these are the second most important pest problem in colombian coffee crops, causing high economic losses. In order to address the current situation of superfamily Coccoidea insects on coffee roots and their natural control agents, a diagnostics was carried out in the department of Valle del Cauca, Colombia, on eighty five farms with coffee plantations younger than two years. These crops were randomly chosen from the Coffee Information System (SICA) considering an estimation error of 10%. An examination of symptoms was carried out as well as a collection (yellowing and decaying coffee trees) and the collection of insects from roots of ten trees per affected coffee plot, the samples were placed in vials with 76% ethanol and were labeled. Furthermore, samples of cocoideos insects and their endoparasitoids, present in each coffee farm were processed. The percentage of farms with infested coffee trees was 56.4%, with a standard error of 10.8%. 75.2% of the affected trees contained insects of the superfamily Coccoidea, with a confidence interval of 17.8. *Puto barberi* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Putoidae) was the predominant species, participating with 43.5%. Here we report the first findings of *P. barberi* parasitoids on coffee in Colombia, belonging to the genus *Hambletonia* and *Aenasius* closed to *bolowi* (Hymenoptera: Encyrtidae).

Keywords: *Coffea* sp., biological control, natural control, Encyrtidae, Putoidae.

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

Los insectos Hemiptera, superfamilia Coccoidea también llamados cocoideos, constituyen un importante grupo de plagas del café (*Coffea* spp.) por las lesiones producidas en las raíces. Estos insectos causan daños económicos debido a que succionan savia y favorecen el ataque de hongos patógenos por las lesiones mecánicas que ocasionan (13). En Colombia, en los últimos años se ha incrementado la ocurrencia y las poblaciones de insectos cocoideos en las raíces del café, ocasionando daños y causando incluso la muerte de plantas, razón por la cual Villegas y Benavides (14) realizaron un reconocimiento de las especies presentes en los departamentos de Caldas, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima. Se registraron los géneros *Dysmicoccus*, *Geococcus*, *Neochavesia*, *Pseudococcus*, *Puto* y *Rhizoecus*, siendo *P. barberi* la especie más predominante, al encontrarse en el 86% de los árboles evaluados y con el mayor registro de daño en raíces de café en Colombia.

Para Colombia existe poca literatura sobre este grupo de insectos; sin embargo, Kondo (6) lista 174 especies en 80 géneros y diez familias, entre las cuales incluye 25 especies endémicas y cuatro nuevos registros para Colombia; Ramos y Serna (12) registraron para el país 216 especies de la superfamilia Coccoidea, agrupadas en 11 familias, las cuales atacan 88 familias de hospedantes botánicos. De estos insectos, 70 especies (32%) pertenecen a la familia Pseudococcidae.

Para el cultivo del café, Villegas *et al.* (13) registraron las especies *P. barberi*, *Neochavesia caldasiae*, *Rhizoecus americanus*, *R. coffeae*, *Geococcus coffeae*, *Dysmicoccus brevipes*, *D. neobrevipes* y *D. texensis*; Mariscal *et al.* (9) registraron a *D. brevipes*, *D. neobrevipes*, *D. texensis*, *G. coffeae*, *R. americanus*, *Ripersiella andensis* y *P. barberi*; y Kondo (8) registró la escama *Toumeyella coffeae* como nueva especie.

Para el control de los insectos Hemiptera: Coccoidea en las raíces del café, actualmente se están utilizando varias moléculas de síntesis química, dentro de la alternativa de manejo integrado (5). Los insecticidas son tóxicos para el hombre y el medio ambiente, además pueden seleccionar genotipos de resistencia en la plaga después de sucesivas aplicaciones en el campo. Adicionalmente, algunas especies de la superfamilia Coccoidae poseen características morfológicas y ecológicas que les brindan protección al control químico (8) y presentan una superposición de generaciones, que hace difícil exponer la población total al insecticida, lo que dificulta aún más el manejo.

De esta manera, el control biológico se convierte en una alternativa dentro del manejo integrado de esta plaga agrícola en Colombia, y a pesar de que los estudios en Colombia sobre enemigos naturales de los cocoideos en las raíces del café son pocos, Noyes (10) reporta casos exitosos con parasitoides de la familia Encyrtidae, para controlar especies de las familias Coccidae y Pseudococcidae.

Con estos antecedentes, el objetivo de esta investigación de tipo exploratoria fue realizar un diagnóstico del estado actual de los Hemiptera: Coccoidea de las raíces del café en el departamento del Valle del Cauca y buscar agentes de control que regulen las poblaciones de la plaga en condiciones naturales, que sirvan como alternativa biológica dentro de un programa de manejo integrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en 85 fincas cafeteras del departamento del Valle del Cauca, distribuidas en 32 municipios (Tabla 1) y en los laboratorios de la Disciplina de Entomología del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé.

Para conocer la situación actual de los insectos Hemiptera: Coccoidea en el departamento del Valle del Cauca, se procedió con un muestreo

Tabla 1. Número de fincas por municipio seleccionadas aleatoriamente, donde se realizó el diagnóstico de la situación actual de los insectos Hemiptera: Coccoidea en las raíces del café y sus agentes naturales de control en el departamento del Valle del Cauca.

| Municipio | Fincas evaluadas |
|---------------|------------------|
| Alcalá | 4 |
| Anserma Nuevo | 4 |
| Buga | 2 |
| Bolívar | 1 |
| Bugalagrande | 2 |
| Caicedonia | 3 |
| Cali | 1 |
| Calima | 2 |
| Cartago | 1 |
| Dagua | 4 |
| El Águila | 5 |
| El Cairo | 4 |
| El Cerrito | 1 |
| Florida | 2 |
| Ginebra | 1 |
| Jamundí | 2 |
| La Argelia | 1 |
| La Cumbre | 1 |
| La Unión | 1 |
| La Victoria | 1 |
| Obando | 5 |
| Pradera | 2 |
| Restrepo | 1 |
| Riofrío | 5 |
| Sevilla | 3 |
| Toro | 3 |
| Trujillo | 6 |
| Tulúa | 6 |
| Ulloa | 2 |
| Vijes | 3 |
| Yotoco | 4 |
| Yumbo | 2 |

aleatorio de 100 fincas procedentes de un marco de muestreo de 11.532, que presentaban al menos un lote de café con menos de dos años de sembrado, seleccionadas a partir del Sistema de Información Cafetera (4), para un error de estimación del 10%.

En las 100 fincas seleccionadas se realizó el diagnóstico del estado actual de los Hemiptera: Coccoidea en las raíces del café, mediante un muestreo no destructivo, con el siguiente protocolo:

1. En el caso de plantas de almácigo, los cuales fueron considerados como lotes menores a dos años, se tomaron 30 plantas al azar, se eliminaron las bolsas, se inspeccionaron las raíces y el suelo y se registraron las plantas atacadas; por cada planta infestada, se tomaron al menos cinco insectos, los cuales se depositaron en viales con etanol al 76% y se rotularon los datos de campo.

2. Para los muestreos en lotes establecidos, éstos se recorrieron y se realizó un reconocimiento de los síntomas de daño ocasionados por los cocoideos, los criterios fueron amarillamiento de hojas y árboles con un desarrollo agronómico deficiente o muerto, de éstos se seleccionaron diez árboles y se recolectaron al menos cinco insectos por árbol.

3. Si los árboles no presentaban los síntomas descritos anteriormente, en cada finca se seleccionaron diez árboles mediante un muestreo sistemático y a cada árbol se le destapó un perfil del sistema radicular, introduciendo un palín de manera lateral para no causar lesiones.

4. Las muestras de los cocoideos, por cada árbol seleccionado, se depositaron en un vial con etanol al 76%, el cual se rotuló con el número de la finca y el número del árbol.

5. Las muestras se transportaron al laboratorio de la Disciplina de Entomología en Cenicafé para su análisis.

Con la información obtenida se procedió a estimar el porcentaje de fincas afectadas, se calculó el error de muestreo y el porcentaje de árboles infestados, con su respectivo intervalo de confianza.

A partir de las muestras recolectadas en las fincas seleccionadas en el departamento del Valle del Cauca, se realizó la búsqueda e identificación de enemigos naturales. Las muestras de los insectos Hemiptera: Coccoidea de cada finca se analizaron en el laboratorio utilizando un estereoscopio Nikon SMZ 1500. Para la búsqueda de parasitoides, a cada individuo se le realizó un análisis morfológico en cuanto al color, tamaño y en algunas ocasiones del contenido abdominal. Posteriormente, se separaron y codificaron los individuos de la superfamilia Coccoidea que presentaron algún cambio de color y tamaño, o que contenían estructuras internas atípicas. Estos insectos se disecaron para examinar el contenido interno y extraer los estados biológicos de los parasitoides. Las muestras de los parasitoides y de los cocoideos se preservaron en etanol al 76%.

Con el fin de corroborar los hallazgos anteriores y obtener adultos de los parasitoides para la identificación, se realizó un nuevo muestreo en las fincas donde se registraron insectos de la superfamilia Coccoidea parasitados. En cada una de ellas, se seleccionaron 100 árboles al azar y mediante un muestreo no destructivo, en los primeros 5 cm de la raíz de cada árbol se realizó recolección de todos los estados biológicos de las especies de cocoideos presentes. Las muestras recolectadas se depositaron en cámaras de emergencia y se trasladaron al

laboratorio de Entomología de Cenicafé, donde se separaron por morfoespecie y se mantuvieron en condiciones controladas de temperatura ($23 \pm 1^\circ\text{C}$), humedad relativa de $73\% \pm 10\%$ y fotoperíodo de 12 h. Para evaluar la emergencia de parasitoides se realizaron observaciones diarias y se registró la morfoespecie de la superfamilia Coccoidea de donde emergió. Transcurridos 20 días después de la recolección del material de campo, todos los estados biológicos de los cocoideos se disecaron y se examinó el contenido interno de cada uno, los parasitoides en diferentes estados biológicos se extrajeron y preservaron en etanol al 76%. La identificación de los parasitoides adultos la realizó el especialista de la familia Encyrtidae, John Noyes del Museo de Historia Natural de Londres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 100 fincas seleccionadas aleatoriamente en el SICA, se evaluaron 85. Las restantes no tenían cafetales menores a dos años o almacigos, o no fue posible visitarlas por problemas de acceso. El porcentaje de fincas con cafetales infestados fue de 56,4%, con un error de muestreo de 10,8%. Esto indica que el error de estimación fue correcto y que el menor número de fincas evaluadas no afectó el resultado final.

El 75,2% de los árboles evaluados en las fincas infestadas tenían en las raíces insectos de la superfamilia Coccoidea, con un intervalo de confianza de 17,8. Se observaron valores mínimos de 10% y máximos de 100%.

Con estos resultados puede concluirse que más de la mitad de las fincas del departamento del Valle del Cauca que presentaron cafetales sembrados en los últimos dos años, están afectadas por cocoideos en las raíces del café. De esta manera, en ausencia de manejo

integrado, se esperaría una afectación que podría repercutir en la productividad.

En las fincas evaluadas se encontró que la especie *P. barberi* predominó en el 43,5% de las fincas evaluadas. Los resultados coinciden con lo registrado para otros departamentos del país por Villegas y Benavides (12), quienes encontraron que la especie predominante en las raíces del café fue *P. barberi*, la cual se encontró en el 86% de los árboles muestreados en los departamentos de Caldas, Cauca, Cundinamarca, Norte de Santander, Risaralda, Santander y Tolima.

De las 85 fincas evaluadas en el Valle del Cauca, en cinco se encontraron insectos de la superfamilia Coccoidea parasitados, lo que corresponde al 5,8% de la muestra (Tabla 2). Estas fincas pertenecen a pequeños caficultores donde el uso de agroquímicos es poco frecuente; adicionalmente, en algunas de ellas existen cultivos asociados al café como yuca (*Manihot esculenta* Crantz), plátano y banano (*Musa paradisiaca* L.), higuierilla (*Ricinus communis* L.) y árboles de sombrío.

En estas cinco fincas, se recuperaron en total 20 individuos de parasitoides en estado de larva y de pupa, distribuidos en cuatro morfoespecies (Figura 1); todos los estados se encontraron parasitando la especie *P. barberi*, los cuales fueron identificados como pertenecientes al Orden Hymenoptera, Familia Encyrtidae.

De las muestras de *P. barberi*, depositadas en las cámaras de cría, emergieron siete adultos de parasitoides, tres del género *Hambletonia* y cuatro del género *Aenasius* (Hymenoptera: Encyrtidae) (Figura 2); de las demás especies de cocoideos no emergieron parasitoides. Los anteriores hallazgos son los primeros registros en Colombia de parasitoides de *P. barberi* en café.

La finca Los Mangos (Tabla 2) contó con el mayor número de individuos de *Puto barberi* parasitados (diez). En esta finca el control químico para el manejo de problemas fitosanitarios es de poco uso; además realizan manejo integrado de arvenses. Estos resultados corroboran las recomendaciones realizadas por Benavides *et al.* (1), donde la combinación de diferentes estrategias de manejo y las prácticas sostenibles contribuyen a la permanencia de la fauna benéfica, que regulan naturalmente las poblaciones de las diferentes plagas; en adición, el control selectivo de arvenses nobles contribuye para que el suelo mantenga cobertura de plantas nectaríferas y melíferas, que sirven de albergue y sustrato alimenticio para la fauna benéfica.

Es importante destacar que en la finca Los Mangos el cultivo de café está asociado con yuca, hospedante de las especies *Puto barberi* y *Puto yuccae* (12). De acuerdo con Fatouros *et al.* (3), la alimentación de los herbívoros, en algunas plantas induce

Tabla 2. Ubicación y descripción de las fincas en el departamento del Valle del Cauca, donde se registraron insectos (Hemiptera: Coccoidea) parasitados.

| Municipio | Vereda | Nombre de la finca | Altitud | Edad (meses) | Variedad | Sombrío |
|-----------|-------------|--------------------|---------|--------------|--------------|-------------|
| Cartago | Oriente | Dosquebradas | 1.387 | 22 | V. Castillo® | Semi sombra |
| Tuluá | El Retiro | El Encanto | 1.719 | 25 | V. Castillo® | Banano |
| Tuluá | Casacajeros | Los Mangos | 1.640 | 15 | V. Castillo® | No |
| Vijes | Rivera | La Esperanza | 1.665 | 24 | V. Castillo® | Plátano |
| Yumbo | La Buitrera | El Bohío | 1.438 | 24 | V. Castillo® | Higuierilla |

la emisión de sustancias volátiles que son señales detectables por los parasitoides, lo que les permite realizar la búsqueda de su hospedante a una determinada distancia. Por lo tanto, después de los hallazgos anteriores se hace importante evaluar el efecto de las relaciones tritróficas que pueden estarse presentando entre estos organismos en esta localidad.

Estos hallazgos son importantes en el establecimiento de un programa de manejo integrado de estos hemipteros, en especial de la especie *P. barberi*, que es la especie que prevalece en el cultivo de café en el

país. Para Noyes (10) la importancia de los parasitoides de la familia Encyrtidae reside en que es uno de los grupos más usados para el control biológico de plagas. De igual manera, Noyes (10) registró la utilización de encirtidos en el control biológico, con 241 especies que se han empleado contra 134 plagas, de los cuales 211 casos han obtenido un éxito parcial o total en el control biológico de hemipteros de las familias Coccidae y Pseudococcidae.

De acuerdo con Noyes (11), todas las especies del género *Aenasius* son endoparasitoides solitarios de insectos de la familia Pseudococcidae.

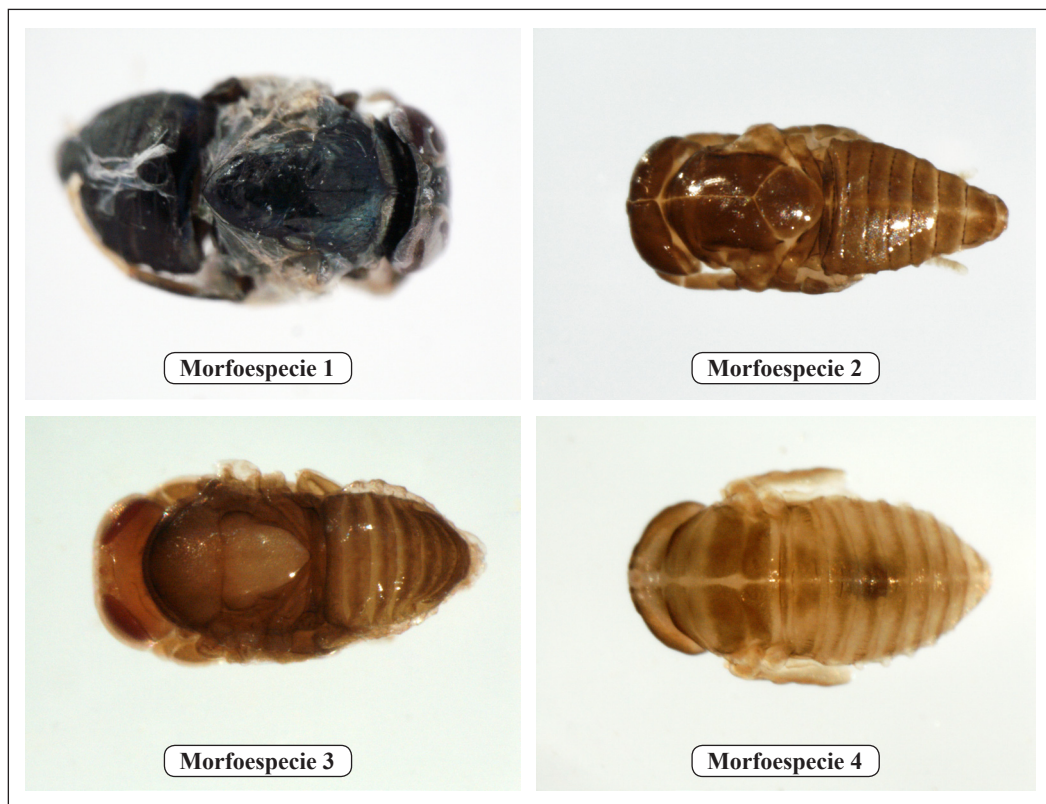


Figura 1. Pupas de cuatro morfoespecies del orden Hymenoptera; familia Encyrtidae parasitoides de individuos de *P. barberi*

Existen 38 especies descritas, de las cuales 29 son conocidas para el nuevo mundo, ocho son afrotropicales (esta región es llamada también etiópica) y *A. advena* Compere es circumtropical, es decir, se distribuye alrededor de la región tropical, pero es de origen Neotropical. A pesar de que las especies del género *Aenasius* juegan un importante rol en la regulación de las poblaciones de insectos (Hemiptera: Coccoidea), en Colombia han sido pocas las iniciativas para utilizarlas en programas de control biológico. Según Noyes (11), en Colombia, J. Castillo utilizó la especie *A. vexans* Kerrich para el control de *Phenacoccus herreni* Cox & Williams, plaga de la yuca. Similar al caso anterior, existen reportes de Hawái y California en Estados Unidos, así como en África, donde se utilizaron especies del género *Aenasius* en programas de control biológico de cocoideos (11).

Evaluaciones de Compere (2) indican que hasta el año de 1937, todas las especies del género *Aenasius* eran de regiones neotropicales obtenidas de los géneros *Puto*, *Pseudococcus* y *Phenacoccus*, esto indica que los registros de parasitoides del género *Puto* existen desde hace 77 años aproximadamente, además se

menciona la introducción desde Colombia de especies de *Aenasius* a Hawái para el control de *D. brevipes* (Cockerell), inclusive las especies *A. colombiensis* Compere y *A. cariocus* Compere, fueron descritas a partir de ejemplares recolectados en Colombia por E.G. Salas & Barbosa en 1935 en el municipio de Bucaramanga (2).

El género *Hambletonia* fue originalmente descrito por Compere en 1936. La descripción se basó en una sola especie, *H. pseudococcina* Compere, por lo tanto, muchos de los caracteres son de valor genérico tales como la forma de la cabeza y el tamaño relativo de las estructuras de la cabeza y la capacidad para retraer las antenas en la depresión facial, entre otros. La especie más representativa de este género es *H. pseudococcina*, la cual está distribuida en Brasil, Colombia y Venezuela. Esta especie ha sido utilizada en programas exitosos de control biológico para el manejo de *D. brevipes*, el cual es considerado su principal hospedante. Este parasitoides fue introducido a Hawái desde Brasil y Venezuela, a Puerto Rico desde Brasil vía Hawái, a Jamaica desde Hawái y a la Florida (Estados Unidos) desde Puerto



Figura 2. Adultos de los parasitoides que emergieron de *P. barberi*, recolectados en la finca Los Mangos. **a.** Hembra de *Aenasius cer. a bolowi*; **b.** Hembra de *Hambletonia* sp.

Rico. Esta especie también se ha encontrado en Argentina, Trinidad y las Antillas (11).

De estos hallazgos puede concluirse que existen especies de parasitoides con potencial dentro de un programa de control biológico de insectos de la superfamilia Coccoidea que se ubican en las raíces del café. Es necesario profundizar en el reconocimiento y estudio de estas especies en el país y su manejo a través de la producción masiva y colonización periódica, conjuntamente con una evaluación de especies benéficas nativas o introducidas con el propósito de promover su conservación e incremento. De esta manera, se aprovecharía este control natural en estrategias de control biológico por aumentación y por conservación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los agradecimientos al Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros del Valle del Cauca por la recolección de las muestras en el campo. A Jaime Cárdenas López Coordinador del Programa de Sanidad Vegetal de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y a Clemencia Villegas G., por su participación en la capacitación al Servicio de Extensión del Comité de Cafeteros del Valle del Cauca. Al especialista de la familia Encyrtidae Jhon Noyes del Museo de Historia Natural- Londres por la identificación de los géneros de parasitoides.

LITERATURA CITADA

1. BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; CONSTANTINO C., L.M.; VILLEGAS G., C.; GIRALDO J., M. Plagas del café broca, minador, cochinillas harinosas, arañita roja y monaloni. p 215-261. En: Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná : FNC : CENICAFÉ, 2013. 3 vols.
2. COMPERE, H. The species of *Aenasius*, encyrtid parasites of mealybugs. Proceedings of the Hawaiian entomological society 9(3):383-404. 1937.
3. FATOUROS, N.E.; LOON, J.J. VAN; HORDIJK, K.A.; SMID, H.M.; DICKE, M. Herbivore induced plant volatiles mediate in flight host discrimination by parasitoids. Journal of chemical ecology 31(9):2033-2047. 2005.
4. FNC, Sistema de información cafetera: Encuesta Nacional Cafetera SICA, estadísticas cafeteras, informe final, Bogotá: FNC, 1997. 178 p.
5. GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P.; VILLEGAS G., C. Manejo integrado de las cochinillas de las raíces del café. Manizales : Cenicafé, 2015. 8 p. (Avances Técnicos No. 459).
6. KONDO, T. Las Cochinillas de Colombia (Hemiptera: Coccoidea). Biota colombiana 2(1):31-48. 2001.
7. KONDO, T. A new species of *Toumeyella* Cockerell (Hemiptera: Coccoidea: Coccidae) on coffee roots, *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), from Colombia and Venezuela. Corpoica 14(1):39-51. 2013.
8. LÓPEZ, E. Control racional del chanchito blanco (*Planococcus citri* (Riso) en chirimoyo mediante el uso de enemigos naturales. La palma 1:6-14. 1991.
9. MARISCAL, A.; RIOS, J. Chinchas harinosas en raíces de café y de su flora arvense asociada en Caldas. Manizales : Universidad de Caldas, 2008. 126 p. Tesis: Ingeniero agrónomo.
10. NOYES, J.S. The reliability of published host-parasitoid records: A taxonomist's view. Norwegian journal of agricultural sciences 16:59-69. 1994. (Supplement)
11. NOYES, J.S. Encyrtidae of Costa Rica (Hymenoptera: Chalcidoidea); the genus *Aenasius* Walker, parasitoids of mealybugs. Bulletin of the natural history museum 64(2):117-163. 1995.
12. RAMOS P., A.A.; SERNA C., F.J. Coccoidea of Colombia, with emphasis on mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae). Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín 57(2):2383-2412. 2004.
13. VILLEGAS G., C.; ZABALA, G.A.; RAMOS P., A.A.; BENAVIDES M., P. Identificación y hábitos de cochinillas harinosas asociadas a raíces del café en Quindío. Cenicafé 60(4):354-365. 2009.
14. VILLEGAS G., C.; BENAVIDES M., P. Identificación de cochinillas harinosas en las raíces de café en departamentos cafeteros de Colombia. Cenicafé 62(1): 48-55. 2011.

RESPUESTA DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.) A LA FERTILIZACIÓN ANTES Y DESPUÉS DE LA ZOCA

Luis Fernando Salazar Gutiérrez*, Siavosh Sadeghian Khalajabadi*

SALAZAR G. L. F.; SADEGHIAN K.; S. Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a la fertilización antes y después de la zoca. Revista Cenicafé 67 (1): 81-93. 2016

La renovación y la fertilización de cafetales son prácticas importantes para mantener y mejorar la productividad. Con el objetivo de determinar el momento oportuno para realizar la fertilización, se realizó un experimento en las Estaciones Experimentales Naranjal (Chinchiná-Caldas) y Paraguaicito (Buenavista-Quindío), y la finca La Arcadia (Libano-Tolima). Bajo el diseño de bloques completos al azar se evaluó el efecto de épocas de fertilización, desde 12 meses antes y hasta 18 meses después del zoqueo, para café variedad Colombia. En Naranjal y en La Arcadia se registró efecto de la fertilización antes del zoqueo sobre la producción de café cereza en el nuevo ciclo productivo. En Paraguaicito, la producción de la primera cosecha fue menor cuando la fertilización se inició a los 18 meses después del zoqueo, comparado con los 6 y 12 meses. El factor de rendimiento en trilla se afectó negativamente solo en La Arcadia al iniciar la fertilización a los 18 meses después del zoqueo. La biomasa seca de raíces disminuyó hasta en 60% en respuesta a la renovación.

Palabras clave: Nutrición, fertilidad del suelo, época de fertilización, biomasa de raíces.

RESPONSE OF COFFEE (*Coffea arabica* L.) TO FERTILIZATION BEFORE AND AFTER STUMPING

Renewal and fertilization of coffee plantations are important practices to maintain and improve productivity. In order to determine the appropriate time for fertilization, an experiment in the Stations Experiment Naranjal (Chinchiná-Caldas) and Paraguaicito (Buenavista-Quindío), and in La Arcadia farm (Libano-Tolima) was conducted. Under a randomized complete block design, the effect of fertilization times from 12 months before to 18 months after stumping the Colombia coffee variety was evaluated. In Naranjal and La Arcadia, the fertilization effect on cherry coffee production before stumping in the new production cycle was recorded. In Paraguaicito, the production of the first harvest was lower when fertilization started 18 months after stumping, compared with 6 and 12 months. The threshing performance factor was negatively affected only in Arcadia when fertilization started 18 months after stumping. Root dry biomass decreased in up to 60% in response to the renewal.

Keywords: Nutrition, soil fertility, fertilization time, root biomass.

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

La renovación periódica de cafetales y el establecimiento de variedades mejoradas, son prácticas necesarias para incrementar y mantener su productividad y rentabilidad. De los principales métodos de renovación del cultivo, es decir, por siembra nueva o por zoqueo, este último ha presentado ventajas comparativas, tanto en el marco agronómico como económico (2). Lo anterior, sumado a las políticas de incentivos a la renovación otorgados por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Gobierno Nacional, ha estimulado a los caficultores hacia la renovación de sus plantaciones, preferiblemente con variedades resistentes a enfermedades y por el método de zoqueo.

Una de las inquietudes frecuentes sobre el tema se relaciona con las épocas de fertilización antes y después de la renovación; es decir, desde cuándo puede dejarse de aplicar el fertilizante antes de la renovación por zoca o cuándo debe iniciarse esta práctica. En este sentido, en Colombia sólo se cuenta con los resultados de una investigación de Uribe y Salazar (14), acerca del tema. En el estudio en referencia, desarrollado en seis localidades, la producción no se vio afectada por la fertilización realizada dos meses antes, ni hasta tres meses después del zoqueo; incluso, en uno de los sitios (Gigante, Huila), no hubo respuesta a la fertilización realizada seis meses después de la renovación. Pese a lo anterior, en la actualidad se recomienda iniciar la fertilización dos a tres meses después del zoqueo (10).

Para condiciones de Costa Rica, Alpizar (1) tampoco encontró efecto de la fertilización química en zocas con edad inferior a los 12 meses. En otro trabajo realizado con la variedad Acaia 474/19 de porte alto, Japiassu *et al.* (5) no hallaron respuesta al suministro de fertilizante hasta 400 kg.ha-año⁻¹, en renovaciones por descope o poda calavera

en suelos profundos, con altos contenidos de materia orgánica y con retorno al suelo del material podado.

Por lo anterior, es necesario brindar respuestas más específicas al caficultor sobre el efecto de la fertilización antes y después del zoqueo. En razón de lo expuesto, la presente investigación abordó un rango más amplio de tiempo, en condiciones ambientales contrastantes, con el objetivo de determinar el momento oportuno de realizar la fertilización antes y después del zoqueo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la Estación Experimental Naranjal (municipio de Chinchiná, Caldas), en la Estación Experimental Paraguaicito (municipio de Buenavista, Quindío) y la finca La Arcadia (municipio de Líbano, Tolima). Los suelos fueron contrastantes en sus características físicas y químicas, especialmente en sus contenidos de materia orgánica, bases intercambiables y CIC (Tabla 1). En cada localidad se evaluaron 12 tratamientos (Tabla 2), a partir de los cuales se formaron siete grupos de interés (Tabla 3), así: tres consistieron en épocas de fertilización antes del zoqueo y cuatro estuvieron conformados por épocas de inicio de la fertilización después del zoqueo. El zoqueo consistió en la eliminación total de la parte aérea del árbol mediante el corte del tallo a 30 cm del suelo (2), después del mismo se permitió el retorno del material podado (hojarasca y ramas) al suelo. Las dosis de fertilizante se definieron con base en el análisis de suelo para cada localidad, según los criterios definidos por Sadeghian (10), las enmiendas correspondientes al encalado se realizaron 8 meses después del zoqueo en todos los tratamientos, cuando el análisis de suelos indicaba que era necesario. Se utilizó un diseño en bloques completos al

azar con ocho repeticiones por tratamiento en Naranjal y siete repeticiones en Paraguaicito y La Arcadia, el número de repeticiones por tratamiento se determinó para una varianza estimada de 49,86 para el promedio de producción de 20 plantas en un año, una diferencia mínima aceptable de 6,25 kg de café cereza por parcela, un nivel de significación del 10% y una confiabilidad superior al 85%.

En Naranjal, cinco de los ocho bloques tenían una distancia de siembra de 1,0 m x 1,5 m y los tres restantes de 1 m x 1 m, y tanto antes como después del zoqueo cada planta estaba conformada por un solo eje o tallo principal. En Paraguaicito y La Arcadia la distancia de siembra fue de 1 m x 2 m, y tanto antes como después del zoqueo las plantas disponían de dos ejes principales. El área efectiva de la unidad experimental fue de 12, 16 y 20 m² en Naranjal, Paraguaicito y La Arcadia, respectivamente. Se registró la producción obtenida durante el año anterior al zoqueo y la cosecha después del zoqueo obtenida desde octubre de 2007 hasta diciembre de 2010 en Naranjal y Paraguaicito, y desde abril de 2008 hasta junio de 2011 en Libano.

Se realizó un análisis de varianza por localidad ($\alpha=95\%$), con el fin de determinar el efecto de los tratamientos, tanto en la producción obtenida en cada año como para el acumulado de éstos; además del factor de rendimiento en trilla y de conversión cereza a café pergamino seco (cps), obtenidos en los días de máxima producción anual, para cada localidad. Se aplicó la prueba de Tukey para comparar los tratamientos y la prueba de contrastes al 10% para establecer comparaciones entre los grupos de tratamientos.

Como variable complementaria, en los tres sitios se evaluó la biomasa seca de las raíces cada tres meses, durante el primer año

después del zoqueo, mediante un muestreo destructivo en el campo. El muestreo se realizó a 25 y 50 cm del tallo, empleando un cilindro de acero de pared delgada, de 20 cm de longitud por 8 cm de diámetro. La separación de raíces de la suspensión de suelo se realizó mediante el uso de un dispositivo, cuyo funcionamiento está basado en el principio de la hidroseparación y flotación (6, 8, 13).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la fertilización antes de la renovación por zoca en la producción de café cereza obtenida antes del zoqueo.

El análisis de varianza detectó efecto de los grupos de tratamientos en Paraguaicito y La Arcadia; en los dos sitios, los tratamientos 2 y 3, correspondientes a la fertilización 10 meses antes del zoqueo y 10 y 3 meses antes del mismo, fueron estadísticamente mayores que el grupo sin fertilización, e iguales entre sí (Figura 1). Aunque en Naranjal se presentó una tendencia similar, no fue estadísticamente significativa. En términos descriptivos, en Naranjal, Paraguaicito y La Arcadia, la fertilización 10 meses antes del zoqueo causó un aumento de la producción de 11%, 17% y 8%, respectivamente, mientras que la fertilización 10 y 3 meses antes del zoqueo produjo un incremento de 12%, 28% y 17% en comparación con el grupo de tratamientos sin fertilización antes del zoqueo.

Solo en Paraguaicito se presentó efecto de los grupos de tratamientos sobre el factor de rendimiento en trilla, así: los valores promedio más altos (88,3%) se obtuvieron en el grupo de tratamientos sin fertilización (Grupo 1), el cual presentó diferencias con el Grupo 2 (86,8%). En general, estos resultados permiten inferir que para las condiciones del estudio es

Tabla 1. Ubicación, características agroecológicas y de suelo, de las localidades y parcelas experimentales.

| Característica | Unidad | Naranjal | Paraguacito | Finca La Arcadia |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------|
| Municipio - Departamento | | Chinchiná, Caldas | Buenavista, Quindío | Líbano, Tolima |
| Latitud | | 4°59'N | 4°23'N | 4°54'N |
| Longitud | | 75°39'W | 75°44'W | 75°02'W |
| Altitud | m | 1.400 | 1.250 | 1.456 |
| Temperatura promedio | °C | 21,6 | 22,4 | 20,0 |
| Precipitación anual | mm | 2.322,1 | 2.109,0 | 2.128,0 |
| Distancia de siembra | m | 1,5 x 1,0 | 2,0 x 1,0 | 1,42 x 1,42 |
| Densidad | ejes /ha | 6.666 | 10.000 | 10.000 |
| Características del suelo | | | | |
| Unidad suelo | | Chinchiná | Montenegro | Líbano |
| pH | | 4,6 | 5,3 | 5,0 |
| N | % | 0,50 | 0,29 | 0,63 |
| MO | % | 13,1 | 6,7 | 18,1 |
| K | cmol _c .kg ⁻¹ | 0,20 | 1,37 | 0,14 |
| Ca | cmol _c .kg ⁻¹ | 0,5 | 4,2 | 3,0 |
| Mg | cmol _c .kg ⁻¹ | 0,3 | 0,8 | 0,6 |
| Al | cmol _c .kg ⁻¹ | 1,6 | 0,3 | 0,7 |
| CIC | cmol _c .kg ⁻¹ | 23 | 18 | 35 |
| P | mg.kg ⁻¹ | 87 | 230 | 4 |
| Fe | mg.kg ⁻¹ | 140 | 192 | 110 |
| Mn | mg.kg ⁻¹ | 12 | 18 | 13 |
| Zn | mg.kg ⁻¹ | 5 | 6 | 8 |
| Cu | mg.kg ⁻¹ | 6 | 2 | 10 |
| B | mg.kg ⁻¹ | 0,76 | 0,96 | 0,27 |
| S | mg.kg ⁻¹ | 19,8 | 10,7 | 2,1 |
| Ar | % | 20 | 12 | 13 |
| L | % | 25 | 20 | 34 |
| Textura del suelo | | F.A. | F.A. | F.A. |

necesaria la fertilización 10 meses antes del zoqueo para asegurar la calidad y rendimiento del grano en el último ciclo de producción del cultivo anterior al zoqueo. Según Arcila *et al.* (2), la fertilización que se hace dos meses antes de la cosecha contribuye al buen desarrollo de los frutos, además de aportar a la formación de nudos y hojas para las próximas cosechas, por lo cual no es de extrañar el efecto positivo en la producción obtenido al realizar la fertilización 10 meses

antes del zoqueo. Entre tanto, Sadeghian (11) reporta variaciones en la magnitud de la respuesta en producción de café a la fertilización en diversos sitios de la zona cafetera de Colombia, comportamiento que se debe a las diferencias en las condiciones de fertilidad del suelo, lo cual concuerda con lo encontrado; además, en este estudio se observó que al suspender el suministro de los nutrientes que el cafetal requiere, es posible que la producción no se afecte en

Tabla 2. Descripción de los tratamientos.

| Tratamiento | Fertilización antes del zoqueo (meses) | | Fertilización después del zoqueo (meses) | | | |
|-------------|--|----|--|----|----|----|
| | 10 | 3 | 3 | 6 | 12 | 18 |
| 1 | No | No | No | No | No | Si |
| 2 | No | No | No | No | Si | Si |
| 3 | No | No | No | Si | Si | Si |
| 4 | No | No | Si | Si | Si | Si |
| 5 | Si | No | No | No | No | Si |
| 6 | Si | No | No | No | Si | Si |
| 7 | Si | No | No | Si | Si | Si |
| 8 | Si | No | Si | Si | Si | Si |
| 9 | Si | Si | No | No | No | Si |
| 10 | Si | Si | No | No | Si | Si |
| 11 | Si | Si | No | Si | Si | Si |
| 12 | Si | Si | Si | Si | Si | Si |

Tabla 3. Grupos de tratamientos de interés para su comparación.

| Grupo | Descripción | Tratamientos |
|---------|--|---------------|
| Grupo 1 | Sin fertilización antes del zoqueo | 1, 2, 3, 4 |
| Grupo 2 | Con fertilización 10 meses antes del zoqueo | 5, 6, 7, 8 |
| Grupo 3 | Con fertilización 10 y 3 meses antes del zoqueo. | 9, 10, 11, 12 |
| Grupo 4 | Inicio de la fertilización a los 18 meses después del zoqueo | 1, 5, 9 |
| Grupo 5 | Inicio de la fertilización a los 12 meses después del zoqueo | 2, 6, 10 |
| Grupo 6 | Inicio de la fertilización a los 6 meses después del zoqueo | 3, 7, 11 |
| Grupo 7 | Inicio de la fertilización a los 3 meses después del zoqueo | 4, 8, 12 |

la cosecha inmediata sino en las siguientes, lo cual pudo haber ocurrido en este estudio en Naranjal.

De acuerdo con Sadeghian *et al.* (12), en los últimos dos meses antes de la cosecha sólo se presenta cerca del 25% de la acumulación de nutrientes en el fruto de café. Esta condición sugiere que para la presente cosecha tiene mayor influencia la fertilización que se realiza durante los primeros dos a tres meses a partir de la floración que aquella que se realiza en los últimos dos meses previos a la recolección.

Efecto de la fertilización antes y después del zoqueo en la producción obtenida después de la renovación

En Naranjal el promedio más bajo de la producción se obtuvo con el tratamiento 1, el cual careció de fertilización desde el año anterior al zoqueo hasta los 18 meses después del mismo, mientras que en los tratamientos 8 y 7, consistentes en la fertilización 10 meses antes y reiniciada 3 y 6 meses después del zoqueo, respectivamente (Tabla 4), se obtuvieron los promedios más altos, los cuales fueron diferentes

únicamente al tratamiento sin fertilización. En Paraguaicito y La Arcadia el tratamiento 1 afectó la producción del primer año, sin comprometer la obtenida en los demás años, ni la producción acumulada de cuatro años. Lo anterior corrobora la importancia de la fertilización anterior y posterior al zoqueo encontrada por Uribe y Salazar (14).

Efecto de la fertilización anterior al zoqueo en la producción obtenida después de la renovación

En Naranjal se encontró efecto de la fertilización anterior al zoqueo sobre la producción obtenida después del mismo. El promedio más alto de la producción acumulada se logró con el grupo de tratamientos 2 y 3, correspondientes a la fertilización 10 meses antes del zoqueo y 10 y 3 meses antes del mismo, respectivamente,

sin diferencias entre éstos (Figura 2). En La Arcadia y Paraguaicito no se presentó efecto de la fertilización anterior al zoqueo sobre la producción acumulada promedio.

En términos descriptivos, la fertilización 10 meses antes del zoqueo aumentó la producción en 14% y 3%, y la fertilización 10 y 3 meses antes del zoqueo incrementó la producción en 11% y 5% para Naranjal y La Arcadia, respectivamente, en comparación con el grupo de tratamientos sin fertilización antes del zoqueo.

En cuanto a las producciones anuales promedio, las más altas se obtuvieron como efecto de la fertilización 10 meses antes del zoqueo y 10 y 3 meses antes del mismo, sin diferencias estadísticas entre éstos. Lo anterior se reflejó principalmente para el

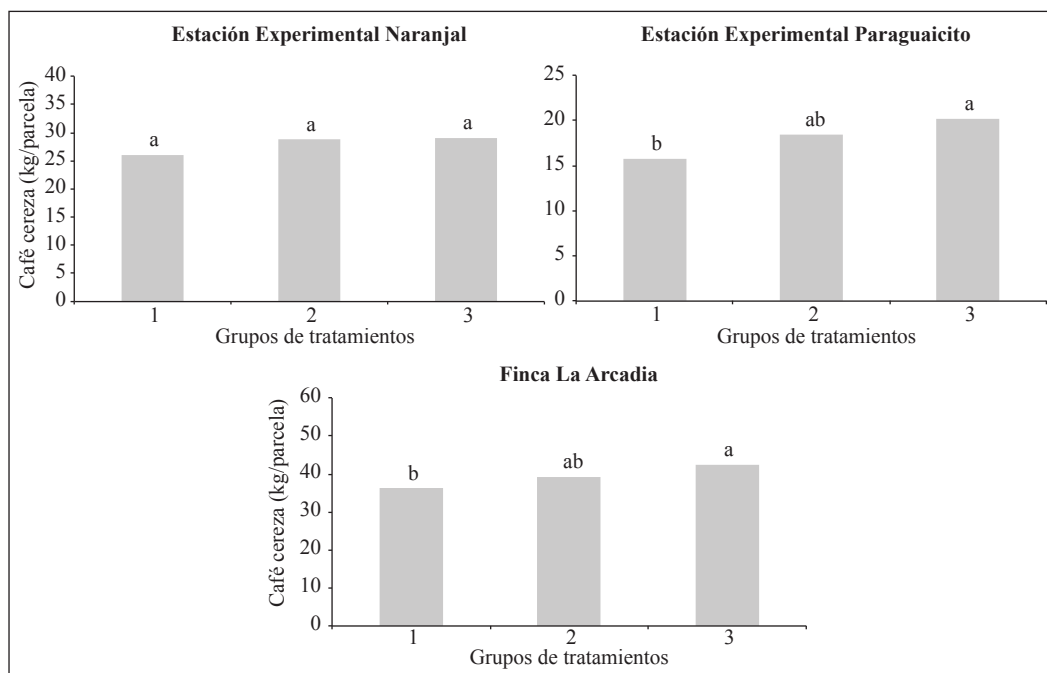


Figura 1. Valores promedio de la producción de café cereza el año anterior al zoqueo. Letras comunes indican igualdad estadística según prueba de Tukey al 5%.

Tabla 4. Efecto de la fertilización antes y después del zoqueo sobre la producción.

| Tratamientos | Año 1 | | Año 2 | | Año 3 | | Año 4 | | Acumulado | | | | | |
|---|--------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------|------|----|------|-------|----|
| | café cereza/parcela (kg) | | | | | | | | | | | | | |
| | Prom. | CV (%) | Prom. | CV (%) | Prom. | CV (%) | Prom. | CV (%) | Prom. | | | | | |
| Estación Experimental Naranjal | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 8,2 | a | 49,9 | 20,2 | b | 20,6 | 17,4 | a | 20,7 | 22,8 | b | 17,2 | 68,6 | b |
| 2 | 10,0 | a | 64,9 | 27,7 | ab | 43,1 | 19,3 | a | 37,6 | 31,4 | ab | 44,1 | 88,4 | ab |
| 3 | 9,6 | a | 51,3 | 26,0 | ab | 28,9 | 18,2 | a | 26,2 | 28,2 | ab | 16,9 | 82,1 | ab |
| 4 | 9,3 | a | 58,4 | 26,1 | ab | 38,3 | 19,2 | a | 34,5 | 25,3 | ab | 28,9 | 79,9 | ab |
| 5 | 9,8 | a | 59,6 | 25,8 | ab | 26,6 | 20,4 | a | 23,2 | 28,7 | ab | 22,6 | 84,6 | ab |
| 6 | 8,3 | a | 61,5 | 25,8 | ab | 35,3 | 20,0 | a | 28,1 | 27,8 | ab | 32,2 | 81,8 | ab |
| 7 | 11,3 | a | 50,0 | 29,0 | ab | 25,2 | 22,7 | a | 22,4 | 34,6 | a | 21,9 | 97,5 | a |
| 8 | 12,0 | a | 41,4 | 30,2 | a | 26,6 | 23,7 | a | 21,7 | 34,3 | a | 17,6 | 100,2 | a |
| 9 | 9,5 | a | 69,8 | 29,0 | ab | 31,1 | 20,5 | a | 31,7 | 31,1 | ab | 32,2 | 90,2 | ab |
| 10 | 9,6 | a | 42,5 | 27,8 | ab | 28,4 | 23,1 | a | 23,0 | 32,7 | ab | 21,9 | 93,2 | ab |
| 11 | 9,1 | a | 69,1 | 23,9 | ab | 30,0 | 20,1 | a | 21,3 | 29,3 | ab | 16,4 | 82,4 | ab |
| 12 | 8,8 | a | 66,2 | 25,6 | ab | 16,4 | 22,2 | a | 19,2 | 31,7 | ab | 14,5 | 88,3 | ab |
| Estación Experimental Paraguaito | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 3,9 | b | 41,8 | 20,7 | a | 19,1 | 28,3 | a | 24,6 | 72,7 | a | 16,8 | 125,6 | a |
| 2 | 9,2 | ab | 46,3 | 26,8 | a | 20,8 | 28,6 | a | 24,8 | 77,4 | a | 7,9 | 142,0 | a |
| 3 | 10,6 | a | 47,0 | 24,3 | a | 23,0 | 27,1 | a | 14,4 | 73,5 | a | 16,6 | 135,4 | a |
| 4 | 9,0 | ab | 54,0 | 21,4 | a | 34,1 | 27,0 | a | 24,3 | 69,7 | a | 14,8 | 127,1 | a |
| 5 | 8,5 | ab | 41,6 | 23,6 | a | 17,2 | 26,0 | a | 14,8 | 71,1 | a | 11,3 | 129,1 | a |
| 6 | 8,5 | ab | 21,5 | 24,3 | a | 25,9 | 26,0 | a | 25,0 | 75,5 | a | 14,9 | 134,3 | a |
| 7 | 10,4 | ab | 53,2 | 23,9 | a | 30,4 | 27,3 | a | 17,5 | 76,2 | a | 14,4 | 137,8 | a |
| 8 | 7,5 | ab | 77,8 | 20,4 | a | 23,6 | 26,8 | a | 17,1 | 72,1 | a | 11,7 | 126,8 | a |
| 9 | 9,2 | ab | 25,8 | 23,3 | a | 21,2 | 27,5 | a | 24,1 | 74,1 | a | 20,6 | 134,1 | a |
| 10 | 7,5 | ab | 45,5 | 20,9 | a | 28,5 | 24,0 | a | 21,0 | 67,6 | a | 25,5 | 120,0 | a |
| 11 | 9,7 | ab | 20,3 | 24,0 | a | 31,8 | 30,3 | a | 10,9 | 79,2 | a | 9,4 | 143,2 | a |
| 12 | 11,9 | a | 35,3 | 24,6 | a | 38,7 | 24,1 | a | 21,3 | 70,4 | a | 15,9 | 130,9 | a |
| Finca La Arcadia | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 24,6 | b | 45,2 | 55,3 | a | 13,5 | 57,0 | a | 20,3 | 19,0 | a | 21,4 | 155,9 | a |
| 2 | 29,4 | ab | 27,4 | 54,8 | a | 8,8 | 66,9 | a | 2,8 | 21,2 | a | 25,6 | 172,4 | a |
| 3 | 28,0 | ab | 42,5 | 55,3 | a | 15,2 | 62,0 | a | 15,0 | 20,3 | a | 24,0 | 165,6 | a |
| 4 | 27,2 | ab | 33,5 | 54,7 | a | 7,5 | 65,1 | a | 16,3 | 21,1 | a | 24,3 | 168,0 | a |
| 5 | 32,9 | ab | 26,3 | 54,8 | a | 14,4 | 55,0 | a | 20,3 | 20,8 | a | 35,5 | 163,4 | a |
| 6 | 27,5 | ab | 24,5 | 55,1 | a | 12,2 | 60,9 | a | 17,3 | 17,7 | a | 32,4 | 161,3 | a |
| 7 | 35,6 | a | 32,0 | 57,8 | a | 13,4 | 65,7 | a | 8,3 | 26,1 | a | 16,3 | 185,2 | a |
| 8 | 34,1 | ab | 26,7 | 58,9 | a | 13,0 | 57,6 | a | 19,9 | 20,0 | a | 23,7 | 170,6 | a |
| 9 | 34,8 | ab | 39,3 | 57,4 | a | 25,8 | 60,0 | a | 15,3 | 22,5 | a | 25,5 | 174,6 | a |
| 10 | 30,8 | ab | 22,3 | 53,3 | a | 14,4 | 61,6 | a | 13,7 | 20,0 | a | 35,7 | 165,7 | a |
| 11 | 37,3 | a | 30,9 | 60,3 | a | 13,0 | 62,9 | a | 16,6 | 21,6 | a | 37,3 | 182,0 | a |
| 12 | 35,0 | ab | 23,8 | 53,7 | a | 14,8 | 61,1 | a | 18,6 | 21,0 | a | 29,6 | 170,8 | a |

Letras comunes representan igualdad estadística entre los tratamientos según prueba de Tukey al 10%.

promedio de la producción obtenida en el tercer y cuarto año de cosecha (2009 y 2010) en Naranjal y el primer año de cosecha (2008) en La Arcadia. El anterior resultado podría atribuirse a los altos contenidos de potasio en Paraguaicito ($1,4 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) y los bajos contenidos del mismo en Naranjal ($0,2 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) y La Arcadia ($0,14 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) (Tabla 2).

Efecto de la fertilización después del zoqueo en la producción

En ninguna de las tres localidades hubo efecto de la fertilización después del zoqueo en la producción de café cereza total de cuatro años de producción (Figura 3); sin embargo, en Paraguaicito el promedio de la producción del primer año de cosecha (2007) fue menor al iniciar la fertilización a los 18 meses (Grupo 4), en comparación con el inicio de la fertilización a los 6 y 12 meses (Grupos 6 y 5, respectivamente). Del mismo modo, el factor de rendimiento en trilla se afectó negativamente en La Arcadia al iniciar la fertilización a los 18 meses después del zoqueo.

Es posible que la falta de una respuesta contundente a la fertilización después del zoqueo se deba a la acumulación de algunas reservas en el tallo y raíces del café durante el primer año después del zoqueo, como lo indican Alpizar (1) y Japiassu *et al.* (5), al igual que a la posible acidificación del medio edáfico por la frecuente aplicación de fuentes nitrogenadas como se observó especialmente en Paraguaicito. Guarçoni *et al.* (4) encontraron cómo después del zoqueo de plantas *Coffea canephora* el alto volumen de material vegetal liberado al suelo puede ser suficiente para influenciar los mecanismos de liberación, retención y transporte de nutrientes en el suelo y su consecuente absorción por las plantas,

razón por lo cual podría atribuirse una baja respuesta del café a la fertilización después del zoqueo.

Efecto del zoqueo en la biomasa de raíces del café

En las tres localidades el zoqueo tuvo efecto significativo ($PL = 0,05$) sobre la disminución de la masa seca de raíces, pero la fertilización antes y después del zoqueo no afectó esta variable.

En Naranjal y Paraguaicito, el peso de las raíces fue mayor cuando se midió a 25 cm que a 50 cm del tallo. En Naranjal, la reducción de la materia seca de raíces menores a 5 mm de diámetro durante el primer año después del zoqueo, presentó una tendencia cuadrática respecto (Figura 4) a los 90, 180, 270 y 360 días después de zoqueo (ddz), las raíces ubicadas a 25 cm del tallo disminuyeron su materia seca en 36%, 49%, 56% y 60%, y las raíces evaluadas a 50 cm del tallo, disminuyeron 38%, 50%, 56%, 65%, respectivamente.

En Paraguaicito la reducción de la biomasa radical se ajustó más a una tendencia lineal respecto al tiempo después del zoqueo (Figura 5); las raíces ubicadas a 25 cm del tallo disminuyeron su materia seca en 28%, 28%, 45% y 52% a los 90, 180, 270 y 360 ddz, respectivamente; en tanto que las raíces tomadas a 50 cm del tallo, disminuyeron 36%, 43%, 48% y 58% a los 90, 180, 270 y 360 ddz, respectivamente.

En La Arcadia, el promedio de la biomasa seca de raíces ubicadas a 50 cm del tallo disminuyó entre 17% y 49% a los 90 y 180 días después del zoqueo, respectivamente, y el peso de las ubicadas a 25 cm del tallo se redujo hasta el 60%, a los 180 días después de la zoca (Figura 6).

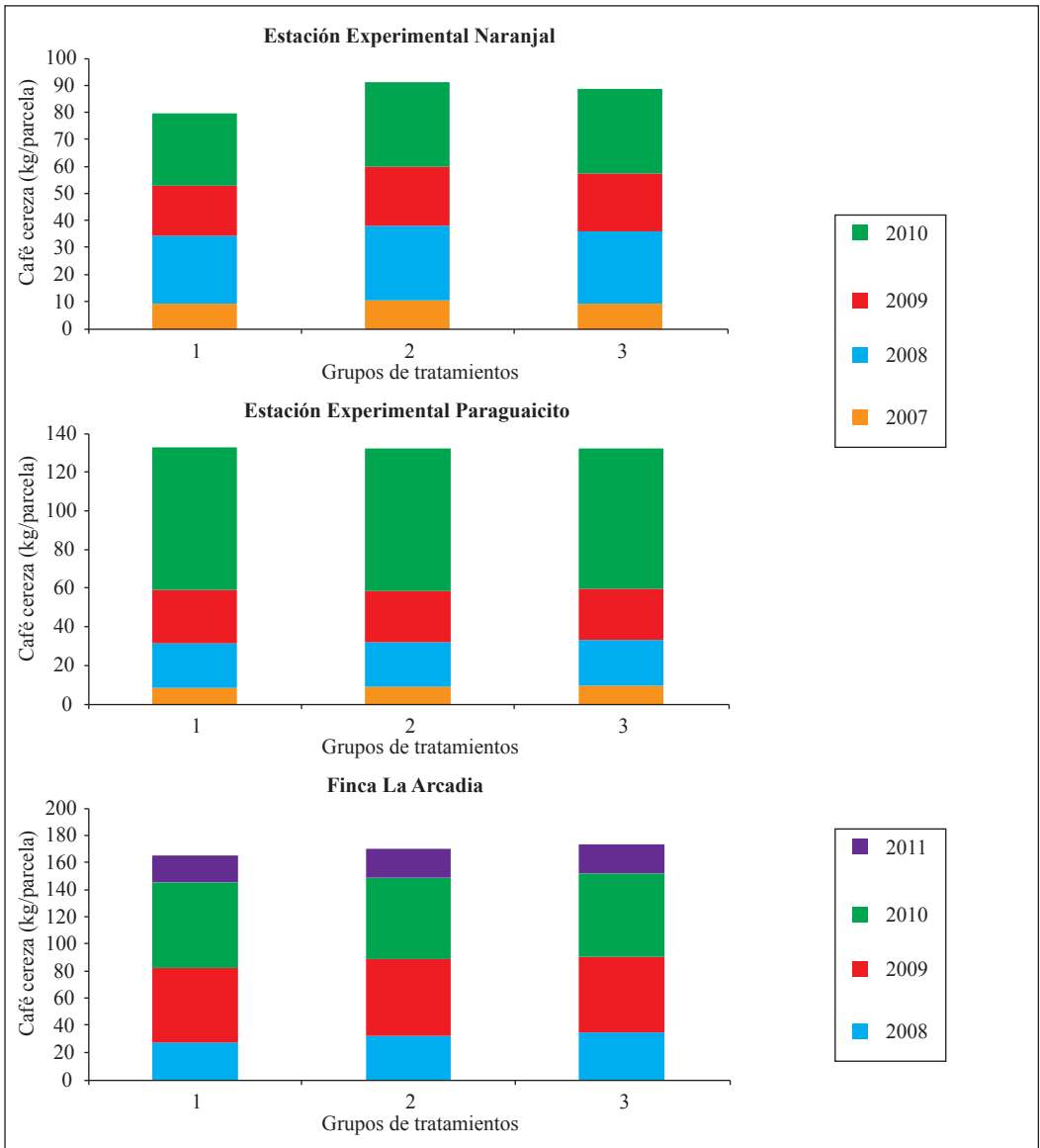


Figura 2. Efecto de la fertilización antes del zoqueo sobre la producción anual y el promedio acumulado obtenido en el nuevo ciclo productivo.

Según los modelos de tendencia cuadrática obtenidos en Naranjal y La Arcadia (Figuras 4 y 6) se estimó el punto cero de pérdida en materia seca de raíces, el cual ocurrió a los 333 y 312 días después del zoqueo en

Naranjal, para las raíces ubicadas a los 25 cm y 50 cm del tallo, respectivamente; en La Arcadia este mismo punto de inflexión se estimó a los 380 y 333 días después de zoqueo, para las raíces ubicadas a 25

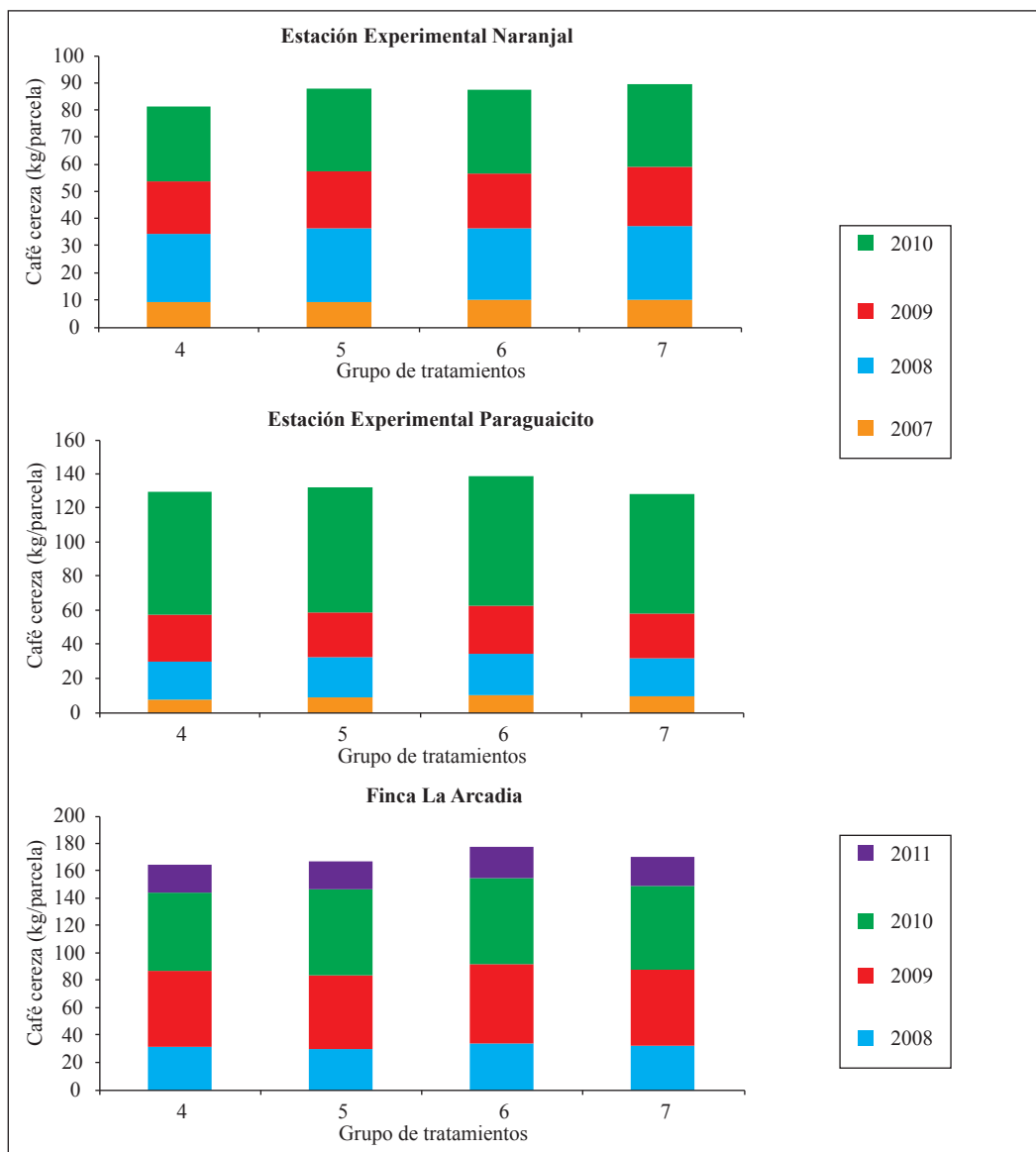


Figura 3. Efecto de la fertilización después del zoqueo sobre la producción anual y el promedio acumulado obtenido en el nuevo ciclo productivo.

y 50 cm del tallo, respectivamente. La tendencia lineal obtenida en Paraguaicito no permitió estimar un punto de inflexión en el período evaluado, pero a manera de observación, 24 meses después del zoqueo

se obtuvo una reducción promedio de materia seca del 20% y el 32%, lo cual permite interpretar que durante el período comprendido entre los 12 y 24 meses después del zoqueo hubo una recuperación

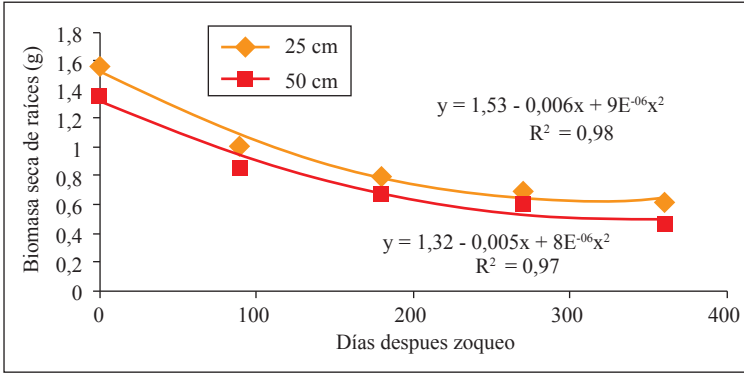


Figura 4. Promedio del peso de la materia seca de raíces del café en diferentes períodos después del zoqueo en Naranjal, a 25 y 50 cm de distancia del tallo.

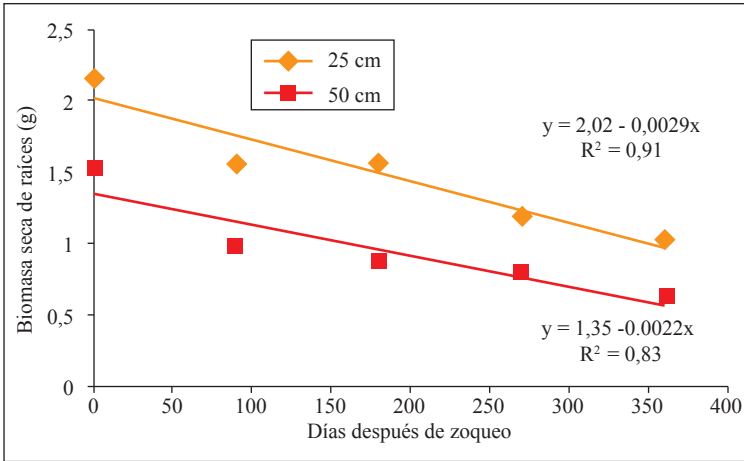


Figura 5. Promedio del peso de la materia seca de raíces del café en diferentes períodos después del zoqueo en Paraguacito, a 25 y 50 cm de distancia del tallo.

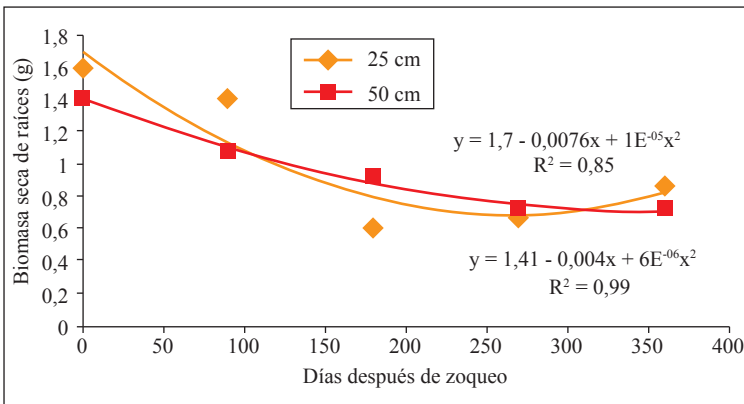


Figura 6. Promedio del peso de la materia seca de raíces del café en diferentes períodos después del zoqueo en la finca La Arcadia, a 25 y 50 cm de distancia del tallo.

del 32% y del 26% en materia seca de raíces ubicadas a los 25 y 50 cm del tallo, respectivamente. En este sentido, en términos generales, podría interpretarse que la planta durante el primer año disminuyó su capacidad para absorber los nutrimentos del suelo debido a la alta pérdida de raíces, superior al 60%.

Los resultados obtenidos sobre el efecto del zoqueo en la disminución de la biomasa de raíces concuerdan con lo encontrado por diferentes autores, es así como Figueroa y Meckbel (3) afirman la disminución de cierta proporción de raíces (50% de masa seca) un año después del zoqueo del café; Miguel *et al.* (7) reportan que los sistemas de poda del café promueven la muerte de raíces con una intensidad proporcional a la naturaleza de la poda, encontrando muerte de raíces desde el 23% al 84%, y según Rena *et al.* (9) el zoqueo drástico del café (20 a 30 cm del suelo) provoca la muerte de más del 80% de las raíces absorbentes.

Los resultados obtenidos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- En cafetales que han recibido un adecuado manejo agronómico, la fertilización 10 meses antes del zoqueo tradicional, aumenta la producción y mejora la calidad física del grano, obtenidas en la cosecha anterior a la renovación.
- La fertilización, realizada desde 10 meses antes del zoqueo, puede afectar positivamente la producción en el nuevo ciclo.
- Al iniciar la fertilización de manera tardía (18 meses después de la zoca), pueden afectarse de manera negativa la producción y la calidad física del grano de café en la primera cosecha.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Caficultora Miryam Giraldo Vilac, propietaria de la finca La Arcadia-, a los Coordinadores de las Estaciones Experimentales: Ingenieros Celso Arboleda Valencia (q.e.p.d.), José Darío Arias, Juan Carlos García, Jorge Camilo Torres, Diego Fabián Montoya, José Raúl Rendón y Guiovanny Cuesta. A los colaboradores de Experimentación y las Estaciones Experimentales Naranjal, Paraguaicito y Líbano, en especial a la señora María Lucero Arias, a la Ing. Agr. Miriam Cañón y el señor Daniel Antonio Franco.

LITERATURA CITADA

1. ALPIZAR S., J.M. Efecto de la dosis de fertilizantes, según la edad de los ejes o ramas ortotrópicas. En: SIMPOSIO Latinoamérica sobre caficultura (6 : Noviembre 24-25 1983 : Panamá). Panamá : PROMECAFE, 1983. 65 72 p.
2. ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : Cenicafe, 2007. 309 p.
3. FIGUEROA M., A.; MECKBEL C., J. Influencia de la poda baja por lote en los nematodos endoparásitos y las raíces del café *Coffea arabica* cv. Caturra. Investigación agrícola 7(1/2):9-14. 1998.
4. GUARÇONI M., A.; MOREIRA S., F.; TÓFFANO, J. L. Macronutrientes em solo e em folhas de café conilon submetido a diferentes manejos da poda de produção. Curitiba : Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 2015. 6 p.
5. JAPIASSU, L.B.; GARCIA, A.L.A.; GUIMARAES, R.J.; PADILLA, L.; SIQUIERA C, C.H. Ciclos de poda e adubacao nitrogenada em lavouras cafeeiras conduzidas no sistema Safra zero. Coffee science 5(1):28-37. 2010.
6. MCKELL, C.; WILSON, A.; JONES, M. A flotation method for easy separation of roots from soil samples. Agronomy journal 53:56-57. 1961.
7. MIGUEL, A.E.; OLIVEIRA, J.A.; MATIELLO, J.B.; FIORAVANTE, N.; FREIRE, A.C.F. Efeitos dos

- diferentes tipos de podas na morte de raízes do cafeeiro. p. 240-241. En: CONGRESSO Brasileiro de pesquisas cafeeiras. (11 : Outubro 22-25 1984 : Londrina). Rio de Janeiro : Ministério da indústria e do comércio, 1984.
8. PIRER., C. Densidad longitudinal de raíces y extracción de humedad en un viñedo del Tocuyo Venezuela. *Agronomía tropical* 35(1/3):5-20. 1986.
 9. RENA, A.B.; NACIE, A. DE P.; GUIMARAES, P.T.G.; PEREIRA, A.A. Poda do cafeeiro: Aspectos morfológicos, ecofisiológicos e agronômicos. *Informe agropecuario* 19(193):71-80. 1998.
 10. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. *Manizales : Cenicafé*, 2008. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).
 11. SADEGHIAN K., S. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. *Manizales : Cenicafé*, 2010. 8 p. (Avances Técnicos No. 391).
 12. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O., H. Acumulación de nitrógeno fósforo y potasio en los frutos de café. *Manizales : Cenicafé*, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 429).
 13. UPCHURCH, R. The use of trench-→wash and soil-→elution methods for studying alfalfa roots. *Agronomy journal* 43:552-→555. 1951.
 14. URIBE H., A.; SALAZARA., J.N. Época de fertilización de las zocas de café. *Manizales : Cenicafé*, 1984. 4 p. (Avances Técnicos No. 117).

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

DIRECCIÓN

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

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos M.Sc.
Andrés Mauricio Villegas H., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Aristóteles Ortiz, Químico, M.Sc.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga**
Luz Fanny Echeverry G., Química
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola M.Sc.
Lady Juliet Vargas G., Ing de Alimentos
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Duván Gallego A., Tecnólogo en Producción Agrícola
Jazmín Vanessa López R., Tecnóloga Química
Alexis Urriago Y., Técnico en Producción Agrícola
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción Agropecuaria Ecológica
Gustavo Echeverri M.

Fisiología Vegetal

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Jenny Lorena Aguirre M., Ing. de Alimentos
Claudia Yoana Carmona G., Ing. Agrónomo
Lizardo Norbey Ibarra R., Ing. Agrónomo
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo M.Sc.
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo
Constanza Andrea Isaza M., Química Industrial
Braian Alejandro López O., Ing. Agrónomo
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Marcela Mora A.**
Mario Franco A.
Claudia Patricia Valencia V.
José Robín García C.
Marlío Fernando Abella D.**

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga**
Alveiro Salamanca J., Ing. Agrónomo Ph.D.
Vanessa Catalina Díaz P., Química
Janeth Escudero A., Microbióloga Industrial y Ambiental
Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo Esp.
Andrés Felipe Castro Q., Ing. Agrónomo**
Wadi Andrey Castaño C., Ing. Agrónomo
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química
John Andersson Giraldo F. Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Leina Carina Vitobis Alvira, Agrónomo

Rigoberto Ochoa Ipuz, Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Arturo Gómez V.

Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo M.Sc.
Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo Ph.D.
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo M.Sc.
Leidy Tatiana Bermúdez F., Ing. Agrónomo
Nathalia Díaz M., Ing. Agrónomo
Leonardo Arvey Sánchez P., Ing. Agrónomo
Luisa Marcela Cerquera Barrera, Ingeniera Agrícola**
Jorge Alexis Ramos Puentes, Ing. Agrícola
Carlos Augusto Ramírez C., Tec. Técnicas Forestales**
Albenis Tovar Pedreros, Tecnólogo en Producción Agrícola
Marco Fidel Cardona de la Cruz, Tecnólogo en Administración y Producción Limpia de Café
Miguel Ángel Erazo R., Tecnólogo en Agricultura de Precisión
Jonnier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en gestión agropecuaria
Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola
Nancy Elena González Flórez, Aprendiz

Mejoramiento Genético

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Alexa Yadira Morales C., Bióloga
Juan Carlos Arias Suárez, Ing. Agrónomo M.Sc.
Henry Mauricio Salas M., Ing. Agrónomo
Luisa Fernanda López Monsalve, Ing. Agrónomo
Lucía Ángel Giraldo, Bióloga
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Tec. en Electrónica**
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaria
Jhon Esteban Quintero A., Técnico en Producción de Café
Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal
Sandra Liliana Largo V.
Diana Sthefanny Velasco Ortega, Aprendiz

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo M.Sc.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo M.Sc.*
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo*
Lucío Navarro E., Biólogo*
Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial. M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Ferny López F., Ing. Agrónomo/Contador
Camilo Efrén López D., Ing. Agrónomo**

Henry Hugo Salcedo V., Técnico en Producción Agrícola
Adriana Paola Gómez C., Tec. admón. y producción limpia de café
Mauricio Jiménez Q., Tec. Administración Agropecuaria
Juan Paulo Pimentel S., Tec. Adm. Empresas Agropecuarias
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.
Diana Soraya Rodríguez A., Tec. en Producción de Café
Claudia Bibiana Tabares B.
Fáber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.
Laura Alexandra Laiton J., Aprendiz Universitario

Agroclimatología

Carolina Jaramillo G., Ing. Agrónoma, Ph.D
Carolina Ramírez C., Ing. Agrícola**
Juan Gabriel Álvarez V., Ing. Agrícola
Arley Valencia S., Ing. Electrónico**
Mauricio Serna O., Ing. Electrónico
Wilmar A. Rendón G., Tec. en Sistemas Informáticos
Jorge Hernán Marulanda E., Tec. en Electrónica
Jhony Andrey Sánchez E., Tecnólogo en Sistemas
Myriam Giraldo M.
Luis Gonzaga Henao R.
Fabián Sánchez L.
Luis Fernando Torres Q.
Orlando Salazar G.
Mario López L.

Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo, Ph.D
Nancy del Carmen Arciniégas B., Ing. Agrónoma, M.Sc.
Juan Manuel López V., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Alberto Zuluaga E., Tec. en Mantenimiento en Comp. y Redes
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Jaroliver Cardona G.

Pocosecha

Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola Ph.D.
Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico Ph.D.
César Augusto Ramírez G., Arquitecto M.Sc.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos M.Sc.*
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico M.Sc.**
Juan Carlos López N., Microbiólogo**
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química**
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola,**
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista,**
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
Viviana Lorena Bohórquez Z., Bióloga
Cristy Mayerly González D., Ing. Ambiental
Andrés Felipe Osorio O., Ing. Químico
Gustavo Adolfo Gómez Z., Biólogo**
Ricardo José Grisales M., Tec. en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en soldadura por arco y por soplete
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda
Walter Mauricio Osorio O
Jairo Enrique Rubiano T., Pasante Maestría
Ana María Jiménez P., Aprendiz

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Adm. de Empresas Agropecuarias M.Sc.
Kelly Johana Correa A., Prof. en Adm. de Mercadeo
José Farid López D., Tec. en Administración Agropecuaria

Estación Central Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo**

Estación Experimental El Tambo

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

Estación Experimental El Rosario

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

Estación Experimental La Catalina

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

Estación Experimental Libano

Jorge Camilo Torres N., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Paraguacito

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

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Santander

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

APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Biometría

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

Documentación

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

Economía

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

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual
Jair Montoya T., Administrador de Empresas M.Sc.
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Leidy Lilianna Arrendondo R., Aprendiz

Unidad de Proyectos

Juan Mauricio Rojas A., Ing. Alimentos M.Sc.
Janeth Alexandra Zuluaga M., Economista Empresarial M.Sc.
Paola Andrea Espejo G. Antropóloga, Esp. en Gestión de Proyectos
María Caterín Estrada C., Economista Empresarial
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista**
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y Zootecnista**

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

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

Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contadora Esp.
Jesús Danilo González O., Contador Esp.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público
María Camila Ramírez J., Contadora**
María Consuelo González H.

Gestión de Bienes y Servicios Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónica**
Paulo Alejandro Arias C., Ing Electricista Esp.
Gabriel Hernando Ortiz C., Tec. en Gestión Bancaria y Financiera
Javier Vanegas V. Técnico Electricista
Mauricio Alexander Erazo S., Técnico Electricista
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica
Uriel López P.
Rogelio Rodríguez G.
Eduardo Villegas A.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Jorge Eduardo Sepúlveda V.
Jorge Antonio Arias A.
Mariana Jaramillo Q., Aprendiz Universitario

Gestión de Tesorería

Luis Fernando Ospina A., Contador Público, Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social M.Sc.
Luz Yaneth Guarín C., Tec. en Administración de Negocios**
Germán Uriel G., Administrador de Empresas, Esp.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional Esp.**
Ángela Liliانا Zapata R., Administradora de Empresas M.Sc.

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L. Ing. Industrial M.Sc.
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial Esp
Damaris Márquez G., Administradora Financiera**
Juan Sebastián Gómez C., Contador Esp
Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas Esp
Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión Administrativa
Andrés Naranjo P., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista, M.Sc.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Leidy Tatiana Salas C., Profesional en Negocios Internacionales
Luz Stella Duque C., Tec. en Administración de Negocios
Aura Janeth Sánchez P., Tec. en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información
Yolanda Castaño G.
Gabriel Antonio Melo P.
Juan Pablo Jaramillo B., Técnico en Fotografía
Lina María Giraldo, Técnico Asistente Administrativo**
Natalia Naranjo V., 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., Ing. de Sistemas Esp.
Daniel Orozco J., Ing. Sistemas y Telecom. Esp.
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecom. Esp.**
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. Sistemas y Telecom.**
Humberto Iván Ríos, Ing. Ambiental Esp.
José Rubiel Castrillón G., Ing. Sistemas y Telecom.**
Audberto Quiroga M., Biólogo**
Juan Camilo Espinosa Osorio, Ing. Topográfico**

* 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 $m^3 s^{-1}$, que podría indicar milisegundos).

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

BIBLIOGRAFÍA

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

Libros, folletos y monografías

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

Partes o capítulo de un libro

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

Ponencias

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

Trabajos de grado

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

Congresos, Seminarios, Simposios

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

Artículos de revistas

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

Separatas y reimpresos

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

Boletines y Publicaciones en serie

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

Normas

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

Documentos electrónicos

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

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

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

Título – Máximo 16 palabras

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

Resumen – Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras
- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título

Abstract - Máximo 250 palabras

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

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

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

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo.

Esté seguro de no omitir información que pueda afectar la interpretación de los resultados, es decir:

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

- Siempre use el tiempo pasado
- Defina técnicamente las variables y cómo se obtienen
- Describa el diseño experimental o soporte estadístico, de acuerdo con el tipo de investigación
- Describa el análisis de la información
- Describa los criterios de decisión

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

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

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas)
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación
- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto
- El mensaje central debe ser suficientemente claro
- Indique la aplicación de los resultados
- Interprete los resultados
- Discuta hechos controversiales con objetividad
- Permítale al lector seguir su línea de pensamiento
- Identifique resultados que abran nuevas posibilidades de estudio
- No se sienta obligado a escribir una explicación positiva para cada faceta del estudio
- Nunca utilice “se necesita hacer más trabajo. . .”
- No haga discusión trivial

Agradecimientos – Máximo 70 palabras

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

Literatura citada

- Se deben colocar en esta Sección sólo las referencias citadas
- No más de 50 citas bibliográficas
- La literatura se debe organizar en estricto orden alfabético y se debe enumerar siguiendo un orden ascendente Las referencias deben citarse en el texto utilizando el número correspondiente al orden alfabético

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

Diseño y diagramación: Óscar Jaime Loaiza E.

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión:

1.200 ejemplares



Cenicafé

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org