

# CARACTERIZACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE FRUTOS DEL CAFÉ VARIEDAD COLOMBIA, EN DOS ESTADOS DE DESARROLLO

Yenny P. Cardona-Quintero\*, Carlos E. Oliveros-Tascón\*\*, Diego F. Arias-Mateus\*\*\*, Alfonso Devia-Cubillos\*\*\*\*, Jaime Arcila-Pulgarín\*\*, Fernando Álvarez M.\*\*\*\*\*

---

## RESUMEN

**CARDONA Q., Y.P.; OLIVEROS T. C. E.; ARIAS M., D. F.; DEVIA C., A.; ARCILA P. J.; ÁLVAREZ M., F. Caracterización de la rugosidad de frutos del café variedad Colombia, en dos estados de desarrollo. Cenicafé 59 (3): 204-213.2008.**

Se determinó la rugosidad media ( $R_a$ ) y cuadrática media (Rms), de área y de línea, del epicarpio del fruto de café variedad Colombia, en los estados de desarrollo verde y maduro. Se determinaron también las dimensiones y la densidad de las células que forman el epicarpio. Las rugosidades medias de área para el fruto maduro y verde fueron 0,13 y 0,32  $\mu\text{m}$ , respectivamente, y la Rms de área para el fruto maduro y verde fueron 0,16 y 0,40  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Las rugosidades medias de línea para el fruto maduro y verde fueron 0,11 y 0,28  $\mu\text{m}$ ; la Rms de línea para el fruto maduro y verde fueron 0,14 y 0,35  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Se encontró que cada estado de desarrollo posee rangos de rugosidad diferenciados, sin presentarse traslape de los datos, diferenciándose un rango entre estados. Las células poseen forma elipsoidal con promedios del diámetro mayor de 21,35  $\mu\text{m}$ , del diámetro menor de 11,37  $\mu\text{m}$  y del área de 194,62  $\mu\text{m}^2$ . El número de células por cada 3.600  $\mu\text{m}^2$  fue de 15, por lo tanto, la densidad de las células fue 4.206 células/ $\text{mm}^2$ .

**Palabras claves:** Epicarpio, densidad de las células, Microscopía de Fuerza Atómica (AFM).

---

## ABSTRACT

Area and line roughness were identified for arithmetic roughness ( $R_a$ ) and root mean square roughness (Rms) parameters for the coffee berry epicarp at the green and mature stages of development. Also were determined the dimension and density of epicarp cells. The average roughness obtained were:  $R_a$  of area of 0,13  $\mu\text{m}$  and 0,32  $\mu\text{m}$ , for mature and green fruits, respectively. Rms of area of 0,16  $\mu\text{m}$  and 0,40  $\mu\text{m}$  for mature and green fruits, respectively.  $R_a$  of line of 0,11  $\mu\text{m}$  and 0,28  $\mu\text{m}$  for mature and green fruits, respectively. Rms of line of 0,14  $\mu\text{m}$  and 0,35  $\mu\text{m}$  for mature and green fruits. Every development stage presented specific ranges without interpolated data. Ellipsoidal shape of cells was observed with average major and minor diameter of 21,35  $\mu\text{m}$  and 11,37  $\mu\text{m}$ , respectively, and average area of 194,62  $\mu\text{m}^2$ . Number of cells for each 3.600  $\mu\text{m}^2$  was 15, therefore the cells density was 4.206 cells/ $\text{mm}^2$ .

**Keywords:** Epicarp cells, coffee fruit, roughness, Atomic Force Microscopy (AFM).

---

\* Ingeniera Física. Universidad Nacional de Colombia. Manizales.

\*\* Investigador Principal. Centro Nacional de investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\*\* Profesor Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

\*\*\*\* Director del Laboratorio de Física del Plasma. Universidad Nacional de Colombia. Manizales

\*\*\*\*\* Profesor titular. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

El café colombiano es reconocido como un producto de alta calidad, atribuible a factores como las variedades cultivadas, las condiciones ambientales, la recolección selectiva y el beneficio húmedo. Para la obtención de cafés de alta calidad es esencial disponer también de materia prima de alta calidad, principalmente de frutos maduros y sanos.

De acuerdo con investigaciones realizadas en Cenicafé, para obtener café seco de alta calidad en taza, la masa a procesar no debe contener más de 2,5% de frutos verdes (13) y debe tener bajos porcentajes de infestación de broca (11) y de daños ocasionados por la mancha de hierro (2).

Sin embargo, en la recolección manual del café en ocasiones se presentan altos porcentajes de frutos verdes en la masa cosechada, que deben ser retirados en el proceso de beneficio, utilizando zarandas, para no afectar la calidad del café seco (13). La masa de café que llega al beneficiadero contiene también porcentajes importantes de frutos pintones, sobremaduros y secos, que pueden afectar la calidad del producto final. Actualmente, con la tecnología utilizada en los beneficiaderos en Colombia, se logra retirar los frutos secos utilizando dispositivos hidráulicos (15).

En Brasil, la empresa *HCG Equipamentos Ltda*<sup>1</sup> desarrolló tecnología para separar frutos verdes, por medios opto-electrónicos, y frutos secos, por medios mecánicos. Esta tecnología, de alto costo, se adapta a las condiciones de la caficultura brasilera, caracterizada por utilizar medios no selectivos en la cosecha.

Debido a que las tecnologías opto-electrónicas son sensibles a la iluminación (3, 12, 18) se han estudiado propiedades microestructurales de los frutos relacionadas con su desarrollo (6, 8, 20). Estas variaciones, de acuerdo con Throop *et al.* (19) y Zude *et al.* (21), se podrían aprovechar para el diseño de nuevas tecnologías para el reconocimiento de los frutos por estado de maduración. Con este propósito, Khan y Vincent (5) describieron la morfología del parénquima de variedades de manzanas utilizando un Microscopio de Barrido Electrónico. Según los autores, la periferia constaba de células esféricas o achatadas radialmente (50  $\mu\text{m}$  de diámetro), con espacios intracelulares esféricos y hacia el interior. También notaron decrecimiento progresivo en la adhesión de la célula durante la maduración y la senescencia, que condujo a la separación de las columnas y al alargamiento de los espacios intracelulares, que dio a las manzanas sobremaduras una textura muy harinosa. De acuerdo con los autores, los espacios intracelulares pueden considerarse para definir la edad de la fruta.

Allan-Wojtas *et al.* (1) describieron la calidad de 24 cultivares de manzanas, considerando información microestructural, sensorial de un panel de expertos y de gusto, por parte de los consumidores. La información de diferentes características, obtenida del panel de expertos, fue reunida en un perfil de textura. Los perfiles microestructurales y de textura se combinaron en perfiles de cultivares, correspondientes a cada muestra. Con estos últimos se creó una base de datos en la cual se identificaron las similitudes y las diferencias sutiles, de 28 muestras de calidades marcadas, que fueron interpretadas y notadas.

---

<sup>1</sup> <http://www.hcgtecnologia.com.br>

Martens y Thybo (8) midieron características microestructurales de papas frescas y cocidas, utilizando microscopía de luz y análisis de imágenes digitales, y observaron que éstas se relacionaban con características sensoriales.

También se han relacionado variaciones en la rugosidad superficial de algunos frutos con cambios en la etapa de maduración. Yang *et al.* (20) determinaron la rugosidad media ( $R_a$ ) y la rugosidad cuadrática media (Rms) de duraznos amarillos por medio de la Microscopía de Fuerza Atómica (MFA), encontrando incremento de los valores de  $R_a$  y Rms con el tiempo de almacenamiento, en atmósfera controlada y en ambiente regular.

La rugosidad es una medida de las variaciones de la altura de una superficie. La rugosidad superficial se puede medir y cuantificar por métodos topográficos y se puede expresar como el resultado de las mediciones sobre el perfil de la superficie, ya sea en dos o tres dimensiones (4). Para ello, existen técnicas avanzadas de caracterización de la rugosidad superficial, como la microscopía de fuerza atómica. Esta técnica permite la observación de imágenes en dos y tres dimensiones, de superficies conductoras y aislantes, por métodos no destructivos, con resolución atómica (20); a partir de estas imágenes, con empleo de software, se analizan las características topográficas de la muestra y se obtiene la medida de la rugosidad mediante diferentes parámetros de evaluación. En general, los parámetros utilizados para cuantificar la rugosidad pueden interpretarse como parámetros propios de la distribución estadística de alturas del perfil o superficies bajo análisis (4).

En esta investigación se determinó la rugosidad media y la rugosidad cuadrática

media de frutos de café sanos en los estados verde y maduro, utilizando microscopía de fuerza atómica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La recolección de los frutos se realizó en el lote La Vitrina de Cenicafé (latitud N 5°; longitud O 75° 35'; altura: 1.310 m), compuesto por 1.407 plantas de la variedad Colombia, de frutos rojos, sembradas en diciembre de 2000, a una distancia de 2,00 m por 0,70 m. Las observaciones de los frutos con el microscopio de barrido por sonda (SPM) se efectuaron en el Laboratorio de Física del Plasma de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales (latitud N 5° 4'; longitud O 75° 3'; altura: 2.150 m).

**Materiales.** Para la observación de los frutos se utilizaron: un Microscopio de barrido por sonda, Park Scientific Instruments (modelo AutoProbe CP); el software SPIP para la medición de la rugosidad y las dimensiones de las células y para la realización de las animaciones; un psicrómetro Lambrecht hasta 60°C, para el registro de la temperatura y de la humedad en el campo y en el laboratorio; una cámara húmeda para el transporte de los frutos desde Cenicafé hacia el laboratorio de Física del Plasma; un penetrómetro con punzón de 5 mm y rango 0 a 5 kgf para medir la firmeza ecuatorial de los frutos verdes; un pie de rey con resolución de 0,01 mm para la medición del diámetro característico; un elemento de corte para realizar el desprendimiento de los frutos; recipientes esterilizados para la recolección de los frutos y elementos de limpieza, desinfección y manipulación de los frutos.

**Muestra.** Constó de 30 frutos en estado de desarrollo maduro y 21 frutos en estado verde 3 de acuerdo con Marín *et al.* (7).

**Metodología.** Los frutos se tomaron de 40 árboles de dos años de edad, entre las cruces 20 y 30, a partir de la base del tallo. El desprendimiento se realizó utilizando tijeras, para evitar el contacto con los dedos del recolector que podían afectar la microestructura y contaminarla. Los frutos se recolectaron en un recipiente esterilizado, tapizado en el fondo con algodón para evitar que se golpearan y de esta forma se alterara la superficie. En el momento del desprendimiento se registró la temperatura y la humedad del ambiente

Los frutos no se recolectaron en una sola fracción de tiempo, sino por sesiones de observación, en cada una de las cuales se recolectaron cuatro frutos, de cada uno de los estados de desarrollo.

A cada uno de los frutos se le midió el diámetro característico, evitando el contacto directo con los dedos, y posteriormente, se seleccionó uno de ellos para medir la firmeza ecuatorial. Si los valores de la firmeza ecuatorial y el diámetro característico del fruto seleccionado se encontraban entre los límites inferiores y superiores establecidos por Marín *et al.* (7), para los estados de desarrollo estudiados, se continuaba con la observación de los frutos restantes, de lo contrario se descartaban y seleccionaban otros nuevamente.

Los tres frutos restantes, de cada estado de desarrollo, se depositaron en una cámara húmeda, la cual se transportó hasta el Laboratorio de Física del Plasma de la Universidad Nacional, en Manizales. El tiempo transcurrido entre la recolección y la observación fue de máximo cuatro horas.

En el laboratorio se realizó una limpieza superficial de los frutos, introduciendo cada uno en un recipiente con agua esterilizada, sosteniéndolo por el pedúnculo para evitar

contacto con el epicarpio y se dejó secar al ambiente. Una vez finalizado el proceso de limpieza, se tomó el fruto con las pinzas y se ubicó, sin realizar cortes en éste, sobre un disco de metal previamente lavado. El fruto se colocó con el pedúnculo hacia abajo, sostenido por un material que permitiera su inmovilización, como la plastilina. Se realizó el posicionamiento de la ménsula (“cantilever”) y de la sonda sobre el fruto, y se efectuó el barrido por la técnica de MFA en el modo contacto intermitente (MFA - I), en un área cercana al ombligo (2 a 3 mm a partir del ombligo), sobre el epicarpio, en áreas de 60 x 60  $\mu\text{m}^2$  y 40 x 40  $\mu\text{m}^2$ . Al finalizar el proceso de observación se registraron los valores de humedad y temperatura del laboratorio donde se encontraba ubicado el equipo.

A partir del barrido, el equipo elaboró una imagen frontal y una imagen en tres dimensiones de la morfología del epicarpio. Una vez obtenida la imagen morfológica se obtuvo la rugosidad de área y de línea (Figura 1), en los parámetros de rugosidad media (ecuación <1>) y rugosidad cuadrática media (ecuación <2>) del epicarpio, respectivamente. La rugosidad de área brinda información de la tendencia de la rugosidad en toda el área barrida, mientras la rugosidad de línea únicamente arroja el valor de la rugosidad en una trayectoria seleccionada. Los valores de rugosidad se hallaron partiendo de la imagen de 60 x 60  $\mu\text{m}^2$ .

$$R_a = \sum_{n=1}^N \frac{|z_n - \bar{z}|}{N} \quad <1>$$

$$Rms = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (z_n - \bar{z})^2}{N-1}}$$

<2>

donde:

$z_n$  = altura de un segmento

$\bar{z}$  = promedio de las alturas de todos los segmentos

N = número de segmentos

A partir de las imágenes frontales de 60 x 60  $\mu\text{m}^2$  de los frutos verdes, se obtuvo la densidad de las células, definida como la relación entre el número de células y el área ocupada, el diámetro de las células y su área a partir de este valor.

Por medio del software SPIP se midieron el diámetro mayor (D) y el diámetro menor de las células (d), a partir de los cuales se determinó el área de las mismas (A) (ecuación <3>).

$$A = \frac{\pi}{4} (Dd) \quad <3>$$

Se determinó el número de células en un área de 3.600  $\mu\text{m}^2$ , a partir de la cual se obtuvo la densidad de las células ( $\rho$ ) (ecuación <4>).

$$\rho = N / \text{mm}^2 \quad <4>$$

donde:

N: número de células

**Variabes a medir:** Las variables de interés registradas fueron la rugosidad de área y de línea en los parámetros Ra y Rms, las dimensiones de las células y la densidad de las células.

Además, se registró la temperatura en el campo y en el laboratorio, y los valores de la firmeza ecuatorial y el diámetro característico.

**Análisis estadístico.** Con los valores de las variables de interés se procedió a:

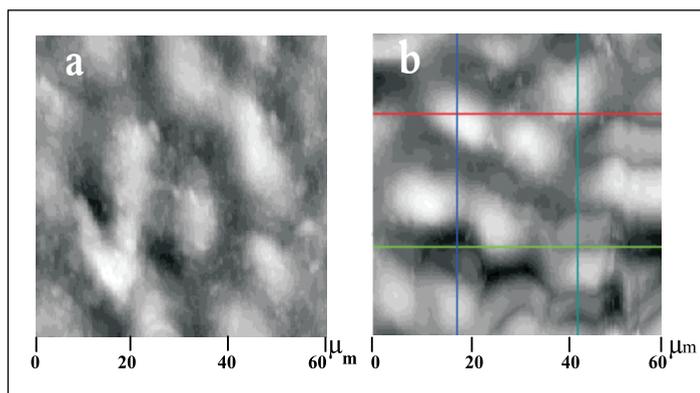
Estimar las medidas de tendencia central (media y mediana).

Estimar las medidas de variación (coeficiente de variación, desviación y rango).

Identificar la distribución estadística.

Determinar la distribución de frecuencias.

Determinar la distribución acumulada de frecuencias.



**Figura 1.**  
Medida de la rugosidad.  
a. rugosidad de área; b. rugosidad de línea.

Para los valores de temperatura, humedad, firmeza ecuatorial y diámetro característico, se obtuvo el promedio y la desviación estándar.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características cualitativas de la rugosidad.

En la Figura 2 se muestra el epicarpio del fruto verde (a) y del fruto maduro (b), en un área de  $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ , con altura de  $6 \mu\text{m}$ . En la superficie del epicarpio del fruto verde se diferencian las células que lo forman, las cuales se encuentran muy juntas, con pequeñas granulaciones entre ellas. En el fruto maduro por su parte no se distinguen las células en el epicarpio, sólo se observan pequeñas granulaciones con una superficie casi plana. Para el fruto maduro (Figura 3), se observaron además algunas morfologías particulares como elevaciones, pliegues y depresiones. Las elevaciones (Figura 3a) se presentaron para aproximadamente el 50% de los frutos maduros analizados, con una frecuencia máxima de 4 elevaciones por área barrida, caracterizadas por presentar pequeñas dimensiones ( $0,7 \mu\text{m}$  de altura,  $3 \mu\text{m}$  de largo y  $2 \mu\text{m}$  de ancho, aproximadamente). Los pliegues (Figuras 3b) se encontraron en

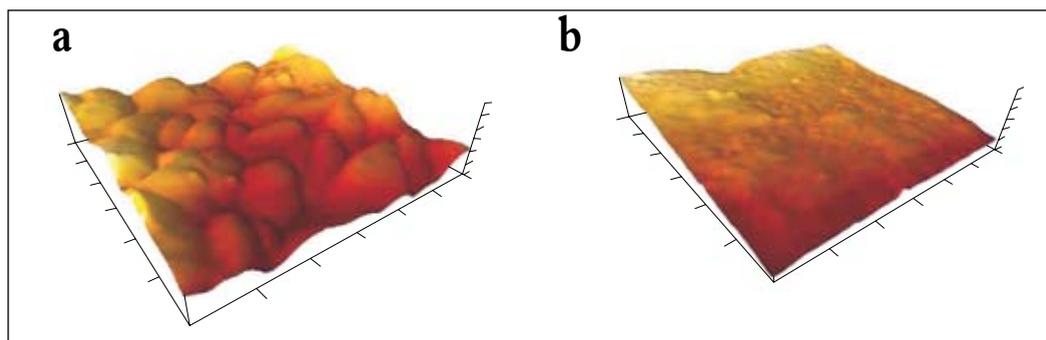
2 de los 30 frutos maduros observados, los cuales atravesaron vertical u horizontalmente el área barrida. El ancho de los pliegues fue de  $4,762 \mu\text{m}$ , aproximadamente. En uno de los frutos maduros analizados se encontró una depresión elipsoidal con base en forma de toroide, sus dimensiones aproximadas fueron  $33,79 \mu\text{m}$  de largo,  $24,18 \mu\text{m}$  de ancho y  $1,24 \mu\text{m}$  de profundidad. También se observó la morfología de los estomas (Figura 3c).

El conocimiento de la morfología de los frutos de café en sus diferentes estados de desarrollo podría ser de utilidad para identificar mecanismos utilizados por hongos e insectos que los atacan (10, 16). Adicionalmente, también puede ser útil para el desarrollo de tecnologías para identificarlos y clasificarlos según su estado de desarrollo.

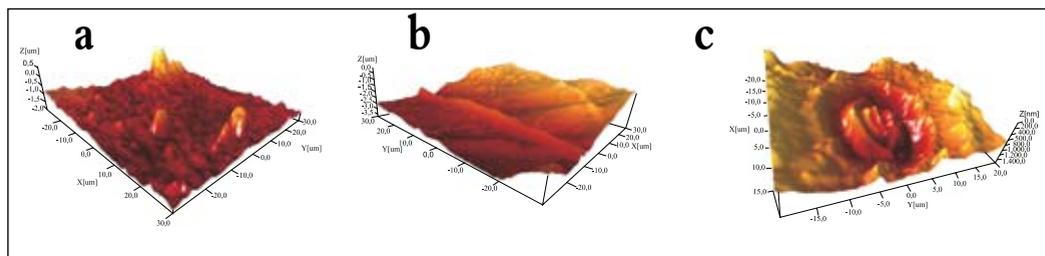
### Características cuantitativas de la rugosidad.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los valores de rugosidad media y cuadrática media (Ra y Rms), de superficie y de línea para frutos de café en los estados verde 3 y maduro.

Para todas las variables de rugosidad se encontró que los valores en los frutos maduros



**Figura 2.** Epicarpio del fruto de café en un área de  $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ , con altura de  $6 \mu\text{m}$ . a. superficie de un fruto de café verde; b. superficie de un fruto de café maduro.



**Figura 3.** Morfologías particulares del epicarpio del fruto de café maduro, variedad Colombia cereza roja. **a.** elevaciones; **b.** pliegues; **c.** estomas.

fueron inferiores a los valores de los frutos verdes. En todos los casos se encontraron rangos de rugosidad diferenciados para cada estado de desarrollo del fruto, sin presentarse interpolación de los datos. Para las variables de área el rango entre estados de desarrollo estuvo entre el 20 y el 25% de cada uno, mientras para las variables de línea varió entre el 47 y el 56%. Lo anterior indica

que por medio de la rugosidad sería posible identificar los frutos de café en los estados de desarrollo maduro y verde 3.

La rugosidad de área describió el comportamiento en  $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ , lo que dio indicio del valor promedio que puede tomar la rugosidad en dicha área, mientras la rugosidad de línea mostró un valor

**Tabla 1.** Rugosidad media Ra ( $\mu\text{m}$ ) de superficie y de línea para frutos de café en los estados verde 3 y maduro.

Estado del fruto	Número de frutos	Rugosidad Ra, $\mu\text{m}$				
		Mínimo	Máximo	Media	C.V. %	
Verde 3	21	Superficie	0,226	0,382	0,320	14,71
Maduro	30		0,126	0,056	0,191	25,92
Verde 3	21	Línea	0,233	0,380	0,284	12,89
Maduro	30		0,028	0,159	0,108	11,06

**Tabla 2.** Rugosidad cuadrática media Rms ( $\mu\text{m}$ ) de superficie y de línea, para frutos de café en los estados verde 3 y maduro.

Estado del fruto	Número de frutos	Rugosidad Rms, $\mu\text{m}$				
		Mínimo	Máximo	Media	C.V. %	
Verde 3	21	Superficie	0,290	0,487	0,401	14,98
Maduro	30		0,069	0,244	0,164	9,24
Verde 3	21	Línea	0,233	0,380	0,284	12,89
Maduro	30		0,028	0,159	0,108	30,30

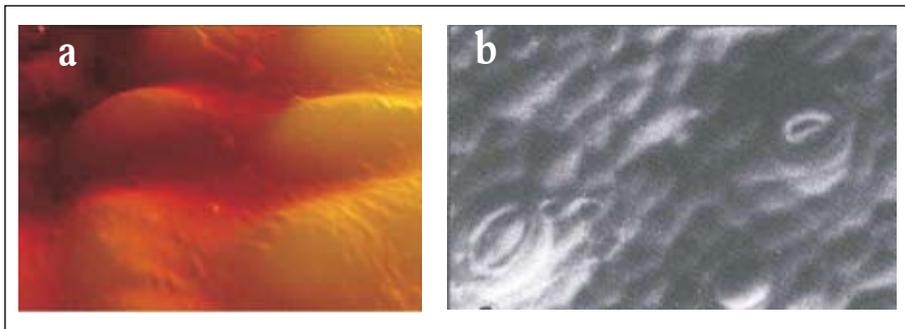
promedio en un trayecto que se seleccionó buscando que fuera representativo del área barrida, evitando morfologías particulares o alteraciones del epicarpio que pudieran generar un valor erróneo del promedio de la rugosidad.

**Dimensiones de las células.** La Tabla 3 muestra los valores de las dimensiones de las células de los frutos en el estado verde 3. Se encontró que éstas poseen forma elipsoidal en lugar de isodiamétrica, como fue reportada por Salazar *et al.* (17). En la Figura 4 se presentan imágenes obtenidas en este estudio y por Salazar *et al.* (17).

En todos los frutos verdes analizados se observó que las células poseen áreas diferentes, desde 105,255  $\mu\text{m}^2$  hasta 430,676  $\mu\text{m}^2$ , con coeficiente de variación de 41,68%.

**Densidad de las células.** En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para el número y densidad de células. El promedio del número de células fue 15 en un área observada de 3.600  $\mu\text{m}^2$ , el promedio de la densidad de las células fue 4.206 células/mm<sup>2</sup>.

**Información complementaria.** En la Tabla 5 se presentan los promedios y coeficientes de variación para la temperatura y la humedad



**Figura 4.** Células del epicarpio del fruto de café. **a.** células superficiales de frutos de café verde (5.000x); **b.** células superficiales de frutos de café verde observadas por Salazar *et al.* (17) con microscopía de luz en 20x.

**Tabla 3.** Dimensiones de células del epicarpio de frutos de café en el estado verde 3.

Dimensión	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V. %
Diámetro mayor, ( $\mu\text{m}$ )	21,32	19,48	15,13	34,82	27,46
Diámetro menor, ( $\mu\text{m}$ )	11,37	10,73	7,49	17,68	24,42
Area, ( $\mu\text{m}^2$ )	194,62	157,41	105,25	430,68	41,68

**Tabla 4.** Densidad y número de células de los frutos en estado verde 3.

Item	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	C.V.
Células en 3600 $\mu\text{m}^2$	15	14	9	24	27,41
Densidad de células (cel/mm <sup>2</sup> )	4.206,38	3.888,89	4.166,67	6.666,67	27,41

**Tabla 5. A.** condiciones ambientales; **B.** propiedades físicas de los frutos de café.

<b>A. Condiciones ambientales</b>				
<b>Sitio</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>C.V.%</b>	<b>Humedad relativa (%)</b>	<b>C.V.%</b>
Plantación	20,6	0,92	86,7	6,6
Laboratorio	21,0	1,40	67,9	6,6

<b>B. Propiedades físicas de los frutos de café utilizados</b>				
<b>Estado</b>	<b>Firmeza ecuatorial (N)</b>	<b>C.V.%</b>	<b>Diámetro característico (mm)</b>	<b>C.V.%</b>
Verde 3	5,0	0	13,9	0,078
Maduro	1,2	0	14,2	0,067

relativa en el campo y el laboratorio, así como los valores de firmeza ecuatorial y diámetro característico del fruto en los estados verde 3 y maduro. Los valores obtenidos para la firmeza ecuatorial y el diámetro característico de los frutos maduro y verde 3 seleccionados se encontraron dentro de los rangos reportados por Marín *et al.* (7), lo que indica que los frutos analizados pertenecían a los estados de desarrollos que se buscaban estudiar.

Los resultados obtenidos, complementados con valores de rugosidad para frutos de café en otros estados de desarrollo (pintón y sobremaduro, especialmente), podrían ser de utilidad para el desarrollo de dispositivos para el reconocimiento y clasificación de frutos de café en el campo y en el beneficiadero, posiblemente sin las limitaciones que se presentan con las tecnologías basadas en principios ópticos y de visión artificial (3, 9, 12, 14, 18). La rugosidad superficial, también podría ser utilizada como alternativa para el reconocimiento y posterior clasificación de frutos sanos y frutos de inferior calidad y/o con problemas fitosanitarios.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación expresan sus agradecimientos a la doctora Esther Cecilia Montoya de la Disciplina de Biometría, por

sus asesorías, y al Ing. M.Sc. Edilson León Moreno por su constante ayuda durante el desarrollo de esta investigación.

### LITERATURA CITADA

1. ALLAN-WOJTAS, P.; SANFORD, K. A.; MCRAE, K. B.; CARBYN, S. An integrated microstructural and sensory approach to describe apple texture. *American Society for Horticultural Science*. 128(3): 381-390. 2003.
2. ÁNGEL C., C. A. Efecto de la mancha de hierro del fruto *Cercospora coffeicola* Ber. y Cooke. sobre la calidad física y sensorial del café. *Cenicafé, Seminario Julio 30*. 2004.
3. GÓMEZ G., E.O. Caracterización de frutos de café mediante visión artificial. *Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura*. 2000.
4. HINOJOSA, M.; REYES, M., M. E. La rugosidad de las superficies: "Topometría". *Ingenierías, Vol. IV, No 11*. pp 27-33. 2001.
5. KHAN, A. A.; VINCENT J. F. V. Anisotropy of apple parenchyma. *J. Sci. Food. Agric.*, 52, 455-466. 1990.
6. LU, R.; PENG, Y. Hyperspectral scattering for assessing peach fruit firmness. *Biosystems Engineering*. 93(2): 161-171. 2006.
7. MARÍN L., S.M; ARCILA P., J.; MONTOYA R., E.C., OLIVEROS T., C.E. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea*

- arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé*, 54(3): 208-225. 2003.
8. MARTENS, H. J.; THYBO, A. K. An integrated microstructural, sensory and instrumental approach to describe potato texture. *Lebensm-Wiss. U. technol.*, 33, 471-482. 2000.
  9. MAYA, C. Desarrollo de un algoritmo para la caracterización y clasificación de frutos de café empleando técnicas de visión artificial. Manizales. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2001.
  10. MENDGEN, K. Biology of Rust and Mechanisms of infection. Durable resistance to coffee leaf rust Viçosa (Brasil). Universidad Federal de Viçosa. 233-248. 2005.
  11. MONTROYA, E.C. Caracterización de la infestación del café por la broca y efecto del daño en la calidad de la bebida. *Cenicafé*, 50(4): 245-258. 1999.
  12. PANTOJA M., N.; CASTAÑO B., M.J. Visión de color en frutos de café. Manizales (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2002. 65p.
  13. PUERTA, G.I. Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Cenicafé*, 51(2): 136-150. 2000.
  14. RAMOS G, P.A. Analizador óptico para frutos de café. Manizales (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. 2004.
  15. ROA, M. G; OLIVEROS, T. C.E.; ÁLVAREZ G. J.; RAMÍREZ, G. C.A.; SANZ, U. J.R.; ÁLVAREZ, H.J.R.; DÁVILA, A.M.T.; ZAMBRANO, F. D.A.; PUERTA, Q. G.I.; RODRÍGUEZ, V. N. Beneficio Ecológico del Café. Chinchiná, *Cenicafé*, 1.999. 300p.
  16. RUBIO, G., J.D. Estudios morfológicos de la broca de café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en la búsqueda de la estructura de Mycangia. Manizales. Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Agronomía, 180 p. 2003.
  17. SALAZAR G., M.R.; RIAÑO H., N.M.; ARCILA P, J.; PONCE D., C.A. Estudio morfológico, anatómico y ultraestructural del fruto de café *Coffea arabica* L. *Cenicafé* 45(3): 93-105. 1994.
  18. SANDOVAL N., Z.L. Caracterización y clasificación de café cereza usando visión artificial. Manizales (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2005.
  19. THROOP, J.A.; ANESHANSLEY, D.J.; ANGER, W.C.; PETERSON, D.L. Quality evaluation of apples based on surface defects: development of an automated inspection system. *Postharvest Biology and Technology* 36: 281-290. 2005.
  20. YANG, H.; AN H.; FENG, G.; LI, Y. Visualization and quantitative roughness analysis of peach skin by atomic force microscopy under storage. *LWT* 38, 571-577. 2005.
  21. ZUDE, M.; HEROLD, B.; ROGER, J.-M. Non-destructive tests on the prediction of apple fruit flesh firmness and SSC at the tree and in shelf life. *In: Collection of extent Abstracts, 2004 CIGR International Conference "Olympics of Agri-cultural Engineering"*, Beijing, China, 11.-14.10. 2004, Vol.