

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EN HÍBRIDOS DE TIMOR

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF COFFEE CHERRIES (*Coffea arabica* L.) IN TIMOR'S HYBRIDS

Juárez-Bravo, A.¹; Debernardi-De la Vequia, H.¹; Quevedo-Nolasco, A.²; Malagón-González, F.³; Morales-Ramos, V.^{1*}

¹Colegio de Postgraduados. Campus Córdoba, km 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94946. ²Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo, km 36.5 Carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. C.P. 56230. ³Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Campus Cuitláhuac, Av. Universidad No.350, Carretera Federal Cuitláhuac-La Tinaja, Localidad Dos Caminos, Cuitláhuac, Veracruz, México. C.P. 94910.

*Autor de correspondencia: vicmor@colpos.mx

RESUMEN

Conocer las características físicas del fruto de café (*Coffea arabica* L), en diferentes estados de madurez, permite determinar el tiempo exacto de cosecha que produzca los mayores rendimientos de café pergamino y tomar previsiones sobre el manejo postcosecha. En este trabajo se estudiaron la densidad aparente, el ángulo de reposo, la masa de 50 frutos, las dimensiones y color de la epidermis de frutos de los Catimores: Colombia, Costa Rica y Oro Azteca, en tres estados de madurez: inmaduro, pintón-maduro y seco. Los resultados indicaron que las propiedades físicas dependen del estado de madurez del fruto, a excepción del ángulo de reposo donde no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$). En la masa y dimensiones (largo y ancho), los frutos secos presentaron los valores menores, seguidos de los inmaduros y posteriormente los pintones-maduros. En el color de la epidermis hubo una diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre estados de maduración: la luminosidad (L^*) fue significativamente mayor en los inmaduros (41.85), precedidos por los pintones-maduros ($L^* = 30.18$) y los secos ($L^* = 24.88$); la tonalidad (h^*) fue significativamente menor en pintones-maduros ($h^* = 29.84^\circ$), seguido de secos ($h^* = 56.49^\circ$) e inmaduros ($h^* = 101.95^\circ$); y en pureza o saturación de color (C^*) el dato significativamente mayor fue para inmaduros (31.35), posteriormente pintones-maduros (24.34) y secos (7.74). Las propiedades físicas evaluadas podrían ser usadas para la discriminación entre diferentes estados de madurez con fines de clasificación, pues existe evidencia de la correlación entre grado de madurez y calidad en taza del café.

Palabras clave: variedades de café, grados de madurez, color de fruto, densidad aparente, ángulo de reposo.

ABSTRACT

Understanding the physical characteristics of the coffee cherry (*Coffea arabica* L), in different states of maturity, allows defining the exact time of harvest that produces the highest parchment coffee yields and taking provisions regarding the post-harvest management. In this research, the following characteristics were studied: apparent density, rest angle, weight of 50 fruits, dimensions and color of epidermis of fruits from the Colombia, Costa Rica and Oro Azteca Catimores, in three states of maturity: immature, half ripened-mature, and dry. The results indicated that the physical properties depend on the state of maturity of the fruit, except for the rest angle where no significant difference was observed ($P > 0.05$). In the mass and dimensions (length and width) the dried cherries present lower values, followed by the immature, and then the half ripened-mature. In the color of the epidermis there was a significant difference ($P \leq 0.05$) between states of maturation: luminosity (L^*) was significantly higher in the immature (41.85), preceded by the half ripened-mature ($L^* = 30.18$) and the dry ($L^* = 24.88$); the tonality (h^*) was significantly lower in half ripened-mature ($h^* = 29.84^\circ$), followed by dry ($h^* = 56.49^\circ$) and immature ($h^* = 101.95^\circ$); and in purity or color saturation (C^*), the significantly higher piece of data was for immature (31.35), then half ripened-mature (24.34) and dry (7.74). The physical properties evaluated could be used for discrimination between different states of maturation with the purpose of classification, for there is evidence of the correlation between degree of maturity and quality of the coffee cup.

Keywords: varieties of coffee, degrees of maturity, color of fruit, apparent density, rest angle.

de renovación de las variedades tradicionales susceptibles, por otras tolerantes o resistentes a la roya, entre ellas los Catimores. Por lo anterior, el objetivo de éste trabajo fue evaluar y analizar las características físicas: densidad aparente, ángulo de reposo, masa, tamaño (dimensiones) y color de la epidermis del fruto (luminosidad, L^* ; tonalidad, h^* y pureza o saturación, C^*) de los principales catimores introducidos a México: Colombia, Costa Rica y Oro Azteca, en tres estados de madurez: inmaduro, pintón-maduro y seco.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se usaron muestras de 1.5 kg de café cereza de las variedades Colombia, Costa Rica y Oro azteca, cosechadas en la misma fecha con tres grados de madurez: inmaduros, pintones-maduros y secos; en la parcela experimental del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, en diciembre de 2014 (Figura 1). A cada muestra se le determinaron las características físicas: densidad aparente, ángulo de reposo, masa, dimensiones y color de la epidermis del fruto.

Densidad aparente. Un recipiente con volumen de un litro, se llenó con cada muestra de café, con tres repeticiones cada una, y se obtuvo la masa del grano (con una balanza electrónica VELABTM, Max=5000 g, d=100 mg), reportando la densidad aparente en kilogramos por litro.

INTRODUCCIÓN

El principal indicador de madurez del fruto de café, que se toma en cuenta para decidir el momento de cosecha, es el cambio de color, al pasar de un color verde a un rojo cereza u amarillo en algunas variedades (Marín *et al.*, 2003a). El conocimiento de las características físicas del fruto del cafeto, incluyendo el color, son requisito indispensable para el diseño de equipos nuevos de cosecha, selección y despulpado (Evanila y Sidebang, 2015). El estudio de las características físicas del fruto del cafeto ha sido abordado por autores como Chandrasekar y Viswanathan (1999), quienes mencionan que no hay influencia en las características físicas (dimensiones, masa y densidad aparente) por estado de maduración del fruto, contrario a lo reportado por Marín *et al.*, (2003b), Sanz-Urbe *et al.* (2008), Carvajal *et al.* (2011) y Carvajal *et al.* (2012), quienes al evaluar el color de la epidermis, encontraron una diferencia significativa por estado de madurez. En México a partir de 2012, con el ataque masivo de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), se ha iniciado un proceso



Figura 1. Estado de madurez: inmaduro (verde), pintón-rojo y seco en frutos de café.

Ángulo de reposo. Una muestra de frutos de café contenida en un recipiente de 1 L se vertió sobre una base con pendiente de 0°, formándose un cono invertido de granos, al cual se midió, utilizando un vernier (TRUPER®, STAINLESS STEEL de 200 mm), el radio (op) y la altura (ady) en tres réplicas (Figura 2). A partir de las medidas, se calculó el ángulo de reposo (α), de acuerdo a la ecuación 1 (Swokowski y Cole, 2011).

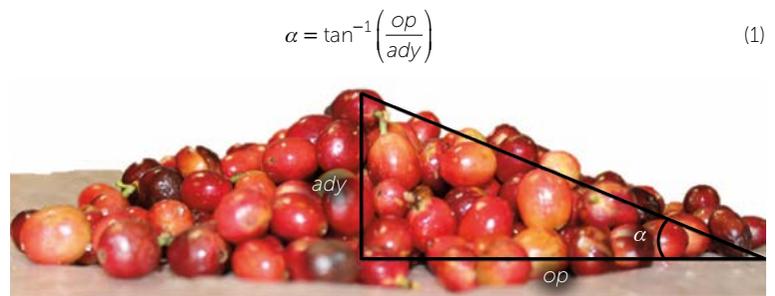


Figura 2. Cono formado por frutos maduros, donde op =radio, ady =altura y α =ángulo de reposo.

Masa. Se tomaron al azar 50 frutos de café por grado de madurez y se obtuvo su masa (con una balanza electrónica VELAB™, Max=5000 g, d=100 mg), en tres repeticiones.

Dimensiones. A 150 frutos de café, tomados al azar de cada variedad y grado de madurez, se les midió el largo y ancho utilizando un vernier (TRUPER®, STAINLESS STEEL de 200 mm) (Figura 3).

Color de la epidermis del fruto. A 150 frutos de café, tomados al azar de cada variedad y grado de madurez, se les midió el color usando un colorímetro Hunter Lab, Modelo MSEZ1250, con la escala CIELab, iluminante D65 y un ángulo de 10° (Figura 4). Se tomaron tres lecturas por fruto, obteniendo las variables L^* , a^* y b^* . A partir de estos valores se calculó el tono (h^*) y el índice de saturación (C^*), de acuerdo a la ecuación 2 (McGuire, 1992).

Análisis estadístico. Para cada característica física estudiada en los tres estados de maduración y variedades, se realizó un análisis de varianza y se corrió la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95% para la separación de medias por estado de madurez. A las variables de dimensión (de las tres variedades y estados de maduración) y color (por estado de maduración) de la

epidermis del fruto se les determinó intervalos de confianza con un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad aparente. De los resultados (Cuadro 1) se observa que la densidad aparente es significativamente menor en el fruto seco de las tres variedades, en concordancia con lo reportado por Alfonso-Júnior *et al.* (2007) para la variedad Catuai; quienes establecen que a medida que disminuye el contenido de humedad en el fruto, también disminuye la densidad aparente. Respecto a las variedades, se aprecia que la variedad Colombia tiene una densidad aparente significativamente mayor ($P \leq 0.05$) a las otras dos variedades en fruto inmaduro y pintón-maduro. Mientras que Costa Rica y Oro Azteca exhiben una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$) por estados de maduración, contrario a lo reportado por Chandrasekar y Viswanathan (1999) y Mutua (2000), quienes no encuentran diferencia significativa por estados de maduración, reportando valores (0.92 kg L^{-1} y 0.80 kg L^{-1} , respectivamente) superior a lo reportados en el Cuadro 1.

Ángulo de reposo. En estados de pintón-maduro y seco el ángulo de reposo del fruto de café no presentó diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las variedades estudiadas; mientras que el fruto inmaduro de la variedad

Costa Rica permitió un ángulo de reposo significativamente mayor que Oro Azteca, variedad que no presentó diferencia significativa en el ángulo de reposo entre los diferentes estados de madurez. Situación contraria a lo reportado por Evanila y Sidebang (2015), quienes encontraron diferencia significativa entre los cuatro estados de



Figura 3. Medición de largo y ancho en frutos de café.

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2)$$



Figura 4. Lectura de color en fruto inmaduro.

madurez estudiados en la variedad Robusta de *Coffea canephora*.

Masa. El peso de los 50 frutos es estadísticamente diferente ($P \leq 0.05$) entre los tres estados de madurez evaluados, evidenciando la importancia de cosechar fruto maduro. Si 100 kilogramos de fruto pintón-maduro se dejaron secar en la planta, al final se cosecharían solo 25 kilogramos de café seco; mientras que, si esos mismos frutos se cosecharan inmaduros, se obtendrían solo 60 kilogramos de café. Dado que el café cereza es un producto que se paga por kilo, es del mayor interés para el productor cosechar sólo fruto pintón-maduro. Marín *et al.* (2003a) reportan resultados similares

para los tres estados de madurez [secos=33 g, inmaduros=66.5-87 g y maduros=99.5 g], mientras que Montilla-Pérez *et al.* (2008), reportan una masa mayor (102 g) en frutos maduros de la variedad Colombia; aunque esta variable depende también de la cantidad de frutos que tienen los cafetos (mayor cantidad generalmente implica menor tamaño y menor peso) y de las condiciones del clima que prevalecen al momento de la evaluación (frutos húmedos o frutos secos), entre otros factores.

Dimensiones. El estado de madurez afectó significativamente ($P \leq 0.05$) las dimensiones del fruto en las tres variedades evaluadas. Los frutos de mayor tamaño fueron

los pintones-maduros (largo=16.31 mm y ancho=14.88 mm) y los de menor dimensión correspondieron a los frutos secos (largo=12.32 mm y ancho=9.14 mm). En el estado de pintón-maduro los frutos de Oro Azteca son significativamente ($P \leq 0.05$) más anchos y pesados que en el resto de las variedades evaluadas. Similarmente, Carvajal *et al.* (2012) reportaron las dimensiones más altas de largo (16.53 mm) y ancho (14.84 mm) en frutos maduros, encontrando diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) entre frutos maduros e inmaduros.

En el Cuadro 2 se observa que las dimensiones de largo y ancho, contemplando los tres estados de maduración y variedades, variaron en intervalos de 14.51-14.69 mm y 11.85-12.08 mm, con valores extremos de 9.48-18.86 mm y 6.78-18.84 mm, respectivamente.

Color de la epidermis del fruto. Las variables de luminosidad (L^*), tonalidad (h^*) y pureza o saturación (C^*) de color varían significativamente ($P \leq 0.05$) por estado de maduración, mientras que para un mismo estado de madurez estas variables fueron muy similares en-

Cuadro 1. Características físicas de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Variedad	Estado de maduración	Densidad aparente (kg L ⁻¹)	Angulo de reposo (°)	Masa de 50 frutos (g)	Dimensiones	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Colombia	Inmaduro	0.69 ^f	18.85 ^{cd}	56.33 ^c	14.51 ^c	11.16 ^c
Costa Rica	Inmaduro	0.64 ^e	20.18 ^d	61.00 ^d	15.39 ^d	11.75 ^d
Oro Azteca	Inmaduro	0.64 ^e	15.09 ^{ab}	59.33 ^d	14.64 ^c	12.15 ^e
Colombia	Pintón-maduro	0.67 ^f	17.35 ^{bc}	94.66 ^f	16.31 ^e	14.25 ^f
Costa Rica		0.60 ^c	15.98 ^{ab}	90.66 ^e	16.14 ^e	14.10 ^f
Oro Azteca		0.62 ^d	16.29 ^{ab}	99.33 ^g	16.03 ^e	14.88 ^g
Colombia	Seco	0.49 ^b	17.45 ^{bc}	24.33 ^a	12.43 ^a	9.14 ^a
Costa Rica	Seco	0.49 ^b	16.30 ^{ab}	30.00 ^b	13.59 ^b	10.24 ^b
Oro Azteca	Seco	0.419 ^a	15.24 ^{ab}	22.00 ^a	12.32 ^a	10.00 ^b

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 2. Dimensiones de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Dimensión	Media (mm)	Límites de confianza (95%)		Observaciones extremas (mm)	
		LI	LS	Inferior	Superior
Largo	14.60	14.51	14.69	9.48	18.86
Ancho	11.96	11.85	12.08	6.78	18.84

LI=límite de confianza inferior y LS=límite de confianza superior.

tre las variedades estudiadas. Por ejemplo, no se encontró diferencia estadística significativa ($P>0.05$) en la luminosidad (L^*) y el tono (h^*) entre variedades en frutos inmaduros (Cuadro 3).

En la Figura 5 se muestra de manera gráfica las diferencias en Luminosidad (L^*), tonalidad (h^*) y pureza o saturación del color (C^*) por variedad y grado de madurez.

Los frutos pintones-maduros presentaron una coloración rojiza ($h^*=29.84^\circ$), medianamente luminosa ($L^*=30.18$) y una pureza del color baja ($C^*=24.34$). Los frutos inmaduros mostraron una coloración amarillo-verdosa ($h^*=101.95^\circ$), con una luminosidad media ($L^*=41.85$) y una pureza del color baja ($C^*=31.35$). Finalmente, los frutos secos se encuentran en una tonalidad rojiza ($h^*=56.49^\circ$), con una luminosidad baja ($L^*=24.88$) y con poca pureza del color ($C^*=7.74$), lo que indica que son tonalidades grises. Carvajal *et al.* (2011) encontraron diferencias significativas entre frutos con diferente estado de maduración, reportando que los valores de L^* , h^* y C^* disminuyen durante la maduración del café. También en los Cuadros 3 y 4 se aprecia que los valores de las variables de color (L^* , h^* y C^*) de frutos maduros son menores con respecto a los inmaduros.

CONCLUSIONES

Las características físicas de los frutos de café en los Catimores: Colombia, Costa Rica y Oro Azteca, provenientes del mismo predio y de las mismas condiciones de cultivo y de cosecha, varían por efecto

de la variedad y del grado de madurez. Así, la densidad aparente es significativamente mayor en los frutos inmaduros de las variedades Costa Rica y Oro Azteca en comparación con sus frutos secos o pintones-maduros. Mientras que en la

variedad Colombia no hay diferencia significativa entre los frutos inmaduros o pintones-maduros. El ángulo de reposo sólo varía significativamente en los frutos inmaduros de las variedades Colombia y Costa Rica (18.85° y 20.18° , respectivamente). La masa de 50 frutos de café varía por variedad, pero principalmente por grado de madurez, aumenta al pasar de inmaduro a pintón-maduro y disminuye al secarse. Similarmente, los frutos pintones-maduros tienen las dimensiones más altas (largo= 16.31 mm y ancho= 14.88 mm) en comparación con los frutos inmaduros o secos. El color varía de acuerdo al estado de madurez. Los frutos con mayor luminosidad son los inmaduros ($L^*=41.85$) y los del valor menor son los secos ($L^*=24.88$). Las tonalidades

Cuadro 3. Color de frutos de café cereza por variedad cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Variedad	Estado de maduración	Color		
		L	h^ ($^\circ$)	C^*
Colombia	Inmaduro	41.73 ^e	102.29 ^e	30.96 ^{fg}
Costa Rica	Inmaduro	41.53 ^e	102.33 ^e	31.05 ^{gh}
Oro Azteca	Inmaduro	42.32 ^e	101.22 ^e	32.02 ^h
Colombia	Pintón-maduro	31.47 ^d	31.15 ^b	24.18 ^d
Costa Rica	Pintón-maduro	29.99 ^c	27.97 ^a	25.46 ^e
Oro Azteca	Pintón-maduro	29.08 ^c	30.41 ^b	23.38 ^d
Colombia	Seco	25.34 ^b	58.62 ^d	8.27 ^c
Costa Rica	Seco	22.96 ^a	51.70 ^c	7.69 ^{bc}
Oro Azteca	Seco	26.35 ^b	59.14 ^d	7.26 ^{ab}

Medias con letra diferente en una columna presentan diferencia estadística (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Límites y medias de color en frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Variable	Inmaduro			Pintón-maduro			Seco		
	Media (mm)	Límites de confianza (95%)		Media (mm)	Límites de confianza (95%)		Media (mm)	Límites de confianza (95%)	
		LI	LS		LI	LS		LI	LS
L^*	41.85 ^c	41.62	42.08	30.18 ^b	29.80	30.56	24.88 ^a	24.7	25.07
h^* ($^\circ$)	101.95 ^c	101.71	102.18	29.84 ^a	29.15	30.54	56.49 ^b	55.96	57.01
C^*	31.35 ^c	31.14	31.55	24.34 ^b	23.96	24.72	7.74 ^a	7.61	7.87

Medias con letra diferente en una columna presentan diferencia estadística (Tukey, $\alpha=0.05$). LI=límite de confianza inferior y LS=límite de confianza superior.

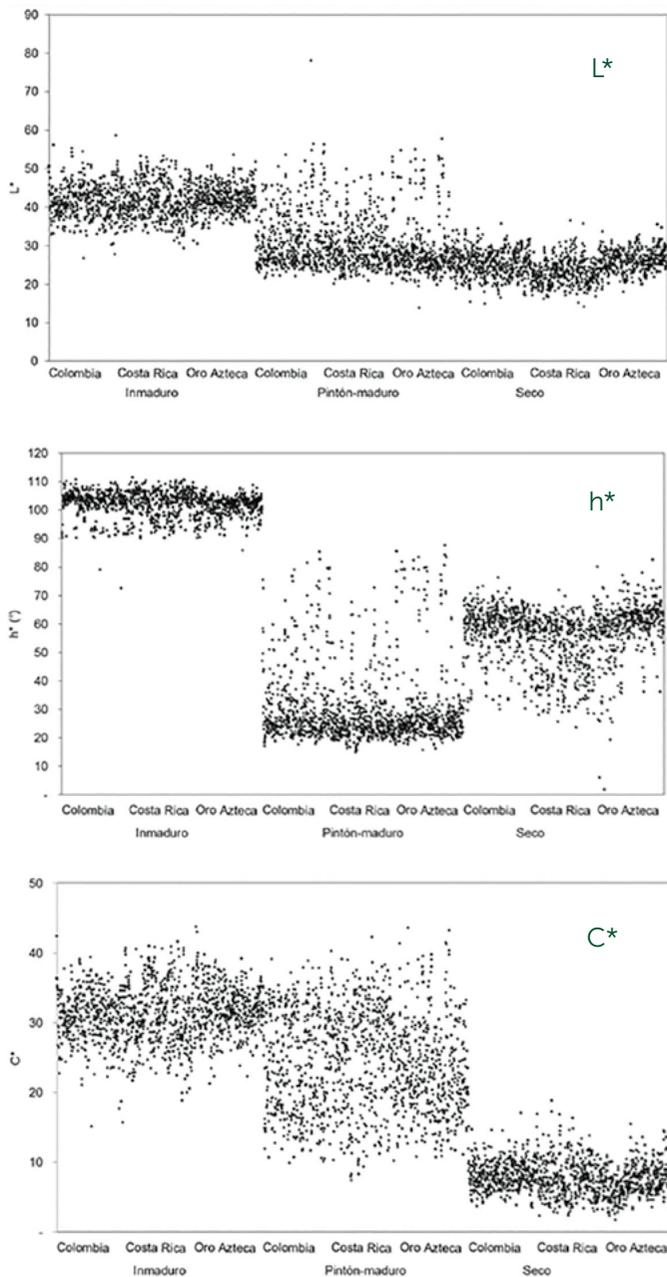


Figura 5. Valores de las variables de color.



varían de rojizo (pintón-maduro), rojizo-naranja (seco) a verde-amarillento (inmaduros).

LITERATURA CITADA

- Alfonso-Júnior P.C., Corrêa P.C., Pinto F.A.C., Queiroz D.M. 2007. Aerodynamic properties of coffee cherries and beans. *Biosystems Engineering*, 98 (1), 39-46.
- Carvajal H.J.J., Aristizábal T.I.D., Oliveros T.C.E., Mejía M.J.W. 2011. Colorimetría del fruto (*Coffea arabica* L.) durante su desarrollo y maduración. *Revista Facultad Nacional Agronomía- Medellín*, 64 (2), 6229-6240.
- Carvajal H.J.J., Aristizábal T.I.D. y Oliveros T.C.E. 2012. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Dyna*, 73 (173), 116-124.
- Chandrasekar V., Viswanathan R. 1999. Physical and Thermal Properties of Coffee. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(3), 227-234.
- Evanila S.Y., Sidebang B. 2015. Engineering properties of coffee beans from various colors of coffee cherries. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3(1), 274-277.
- Marín S.M., Arcila J., Montoya E., Oliveros C. 2003a. Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L. var. Colombia). *Cenicafé* 54(3), 208-225.
- Marín S.M., Arcila J, Montoya E., Oliveros C. 2003b. Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé*, 54(4), 297-315.
- Mcguire R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Montilla.Pérez J., Arcila-Pulgarín J., Aristizábal-Loaiza M., Montoya-Restrepo E.C., Puerta-Quintero G.I., Oliveros-Tascón C.E., Cadena-Gómez G. 2008. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Cenicafé*, 59(2), 120-142
- Mutua J. 2000. Postharvest handling and processing of coffee in African countries. Rural Infraestructure and Agro-Industries Division. Agriculture and Consumer Protection. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x6939e/index.html> (Consultado 29 de febrero de 2017).
- Sanz-Urbe J.R., Ramos-Giraldo P.J., Oliveros-Tascón C.E. 2008. Optoelectronic analyzer of coffee fruits. Trabajo presentado en el World Congress on Engineering and Computer Science- WCECS. San Francisco, USA.
- Swokowski E.W., Cole J.A. 2011. Álgebra y trigonometría con geometría analítica. 13a ed. CENGAGE. México. ISBN 978-0-8400-6852-1. pp. 378.