

DOI:10.18684/BSAA(14)84-91

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN GRANOS DE CAFÉ PERGAMINO SECO UTILIZANDO SPECKLE DINÁMICO

DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT IN DRY COFFEE BEANS BY MEANS OF DYNAMIC SPECKLE

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM GRAOS DE CAFÉ PERGAMINHO COM SPECKLE DINÂMICO

MARIO MILVER PATIÑO-VELASCO¹, EDGAR LEONAIRO PENCUE-FIERRO², RUBIEL VARGAS-CAÑAS³

RESUMEN

El cultivo de café es uno de los pilares económicos más importantes del campo colombiano por su alta calidad. Para asegurar que se conserven sus propiedades organolépticas, el contenido de humedad en el grano de café seco debe estar alrededor del 11%, de lo contrario su calidad se deteriora, por lo que el control de esta variable es fundamental durante la comercialización y almacenamiento de este producto. La determinación de este parámetro se hace de manera subjetiva en la mayoría de los sitios de compra, lo que puede ocasionar transacciones injustas al interior de la cadena de mercado, al igual que el deterioro del producto. En este trabajo se presenta una metodología alternativa basada en speckle dinámico, que está en capacidad de establecer el contenido de agua en granos de café pergamino seco en sesenta segundos. La comparación de los resultados con el método gravimétrico, propuesto por Cenicafe, permite concluir que es una alternativa promisoría para el desarrollo de un sistema de medida de humedad de grano para uso en los sitios de compra de café.

Recibido para evaluación: 4 de febrero de 2016. **Aprobado para publicación:** 11 de Junio de 2016.

- 1 Universidad del Cauca, Departamento de Física, Grupo de Óptica y Láser. Magíster en Ingeniería Física. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Departamento de Física, Grupo de Óptica y Láser. Especialista en Gestión de Proyectos. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Departamento de Física, Grupo Sistemas Dinámicos, Instrumentación y Control. Doctor en Ingeniería biomédica. Londres, Inglaterra.

Correspondencia: mpatino@unicauca.edu.co

ABSTRACT

Coffee farming is one of the most important economic pillars of the Colombian countryside, due to the high quality of the pergamino coffee. To ensure their organoleptic properties are preserved, it is important that the moisture content within the dry coffee bean remains around 11%, otherwise its quality deteriorates; this is the reason why moisture control is essential during the marketing process and storage of this product. However, in most cases, determination of this parameter is subjective in shopping sites, which may cause damage in coffee grains and unfair transactions within the market chain. In this paper, application of dynamic speckle appears as a novel alternative to develop an objective methodology for determining, within 60 seconds, the moisture content of dry coffee beans in purchase places. Results of the proposed methodology in comparison with the gravimet method show the proposed methodology as an alternative for the development of a moisture measurement system.

RESUMO

O cultivo do café é uma das bases económicas mais importantes do campo colombiano pela sua qualidade. Para se assegurar que se conservem suas propriedades organolépticas, o conteúdo de humidade no grão de café seco deve ser aproximadamente 11%, do contrário sua qualidade desmehora, pelo que o controle desta variável é fundamental durante a comercialização e armazenagem do produto. Na grande parte dos casos a determinação deste parâmetro é subjetiva em sites de compras, o que tem como resultado transações não justas na cadeia do mercado, assim como a deterioração do produto. Neste trabalho se apresenta uma metodologia alternativa fundamentada em speckle dinâmico, que esta na capacidade de estabelecer em sessenta segundos o conteúdo de agua em grãos de café pergaminho seco. A comparação dos resultados com o método gravimet, proposto por Cenicafé, permite concluir que o speckle dinâmico é uma alternativa importante no desenvolvimento de um sistema de medida de umidade de grão, para uso nos mercados de compra de café.

INTRODUCCIÓN

El café es una planta del género *Coffea*, compuesto por aproximadamente 100 especies, de las que tres de ellas son cultivadas con fines comerciales: *Coffea arabica* L., *Coffea Canephora Pierre exFroehner*, conocida como robusta, y *Coffea liberica Bull exHiern*, destacándose principalmente las dos primeras [1]. En Colombia se cultivan plantas que pertenecen a la especie *C. arabica*, entre las que se encuentran las variedades Caturra, Colombia, Castillo, Típica y Borbón, principalmente [2]. La producción se exporta como una mezcla de almendras pertenecientes a las variedades cultivadas y su proporción depende de la producción en las regiones cafeteras y la época del año en que se origina la cosecha.

El café colombiano es el más apreciado en el mundo por su alta calidad y es uno de los principales productos de exportación del país. Para asegu-

PALABRAS CLAVE:

Coffea arabica, Humedad de grano, Secado de Café, Speckle dinámico.

KEYWORDS:

Coffea arabica, Grain moisture, Coffee Drying, Dynamic speckle

PALAVRAS-CHAVE:

Coffea arabica, Umidade de grãos, Secagem do café, Speckle dinâmico.

rar su calidad es importante controlar adecuadamente cada una de las etapas de su producción o proceso de beneficio. Un adecuado beneficio es fundamental para asegurar la calidad del grano, ya que el 80% de los problemas se originan en este proceso [3]. El procedimiento comienza con la recolección de las cerezas; continúa con su despulpado, en el cual se les retira la envoltura a las semillas por medio de aplastamiento mecánico. La etapa siguiente es la fermentación, donde se deja reposar el café en recipientes entre uno y dos días para que se desprendan los azúcares que envuelven el grano. Una vez fermentado, el café se somete a un proceso de lavado con agua potable [4]. La siguiente acción a realizar es el secado del café, que generalmente se realiza exponiéndolo a los rayos del sol y que se debe realizar hasta que la humedad del grano alcance un valor entre el 10 y el 12%, que se considera el rango óptimo de humedad [5]. Posteriormente, el café se empaca en costales de fique y se dispone para su comercialización. Si el contenido de humedad, después del secado, es superior al 12 % el café se expone a daños por la presencia de hongos, que deterioran su sabor y, por lo tanto, se arruina su calidad [6]. Si la humedad es menor, comienza la cristalización de la almendra y su desnaturalización [7].

Debido a la importancia de mantener la humedad en el rango óptimo, para conservar la calidad del grano, se han desarrollado métodos para cuantificarla. Los métodos de referencia están descritos en las normas ISO 1446, ISO 1447 e ISO 6673 y se fundamentan en la cuantificación de la pérdida de peso asociada a la reducción de la cantidad de agua contenida en las almendras, bajo unas condiciones de temperatura establecidas en cada una de ellas [8]. También se han desarrollado otros métodos de medida, entre los que se puede citar: Espectroscopía de Infrarrojo Cercano: se registra el espectro de absorción de la muestra y se analiza la altura del pico ubicado a 1940 nm, que corresponde a la banda del agua, para cuantificar su cantidad [9]. Medición de propiedades eléctricas: se utiliza la dependencia que tiene la conductividad eléctrica del contenido de agua presente en la muestra o la variación de la capacitancia eléctrica en función del contenido de humedad para determinarla [10]. Medida de color: se fundamenta en que a medida que el café va perdiendo humedad, el color de su almendra varía, hasta alcanzar una tonalidad dada por las coordenadas de color [11], que corresponden aproximadamente al gris claro, cuando está seco. Una variante empírica de este método es el que utilizan la mayoría de productores y compradores para comercializar el café, a través de inspección visual,

por lo que se genera una alta variabilidad en los resultados debido a la apreciación subjetiva de cada persona.

Otra alternativa propuesta por Cenicafé es el método Gravimet, que se fundamenta, al igual que la norma, en la pérdida de peso que sufre la almendra de café a medida que se seca y la relaciona con el contenido de humedad residual en el grano [12]. Este método es útil para monitorear el secado en las fincas, pero no permite establecer la humedad de una muestra aleatoria de café durante su comercialización, ya que depende del conocimiento de su peso inicial.

Las metodologías para evaluar la humedad del café, enunciadas anteriormente, son difíciles de utilizar en los sitios de compra, ya que tardan mucho tiempo, como en el caso de los métodos descritos en las normas, requieren de instrumentos costosos, como espectrofotómetros y colorímetros o presentan alta variabilidad debido a las apreciaciones subjetivas de los expertos. Por esta razón, se hace necesario investigar otros fenómenos que se puedan utilizar para la medición del contenido de agua en granos de café.

En la última década, se ha desarrollado una técnica óptica que permite relacionar la actividad que se presenta sobre la superficie de una muestra con las variaciones en la intensidad de la luz que refleja, cuando es iluminada con luz coherente (Láser). Su principio de funcionamiento se fundamenta en que cuando la micro-geometría de la superficie de la muestra presenta rugosidades del orden de la longitud de onda de la luz incidente, se produce reflexión difusa, lo que genera ondas secundarias que interfieren para conformar un patrón de manchas oscuras y brillantes que parecen cubrir el objeto y que se denomina speckle [13]. Si existe algún tipo de actividad sobre la superficie, las trayectorias ópticas de las ondas secundarias se alteran, lo que origina fluctuaciones, tanto espaciales como temporales, en el speckle observado, fenómeno al que se le denomina speckle dinámico o bio-speckle [14]. La capacidad de esta técnica de realizar medidas sin ningún tipo de contacto, de forma rápida y a bajo costo, la han convertido en un método promisorio para el desarrollo de sistemas de medida de propiedades biológicas, utilizados en el monitoreo y/o control de calidad de productos [15,16]. Entre las aplicaciones más relevantes del speckle dinámico, relacionadas con el sector agropecuario, se pueden citar: control de calidad de frutas [17,18,19,20], monitoreo del crecimiento de plantas [21,22], y análisis de vitalidad, tanto de semillas [23] como de embriones en huevos [24].

Aprovechando las características del speckle dinámico, en este trabajo se propone un proceso novedoso para determinar el contenido de humedad en granos de café pergamino seco, que realiza la medida en sesenta segundos, por lo que aparece como un método promisorio para el desarrollo de un dispositivo de medida de humedad, que pueda ser utilizado en los sitios de compra de café. Se describe el procedimiento experimental utilizado para implementarlo, se presentan los resultados obtenidos y se coteja con el método gravimet, propuesto por Cenicafé.

MÉTODO

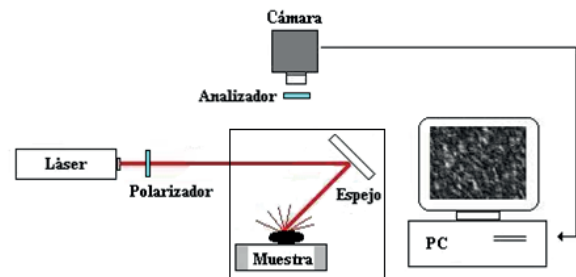
Sistema implementado

Para el registro de los patrones speckle se utilizó una cámara USB a color con una resolución máxima de 3,2 megapíxeles. El dispositivo se configuró en modo de ganancia manual, a una tasa de muestreo de 30 frames por segundo, lo que permitió la captura de imágenes de video a un intervalo de 33,3 milisegundos y una resolución estándar de 640 x 480 píxeles. Como fuente de iluminación se utilizó un láser de He-Ne de 632,8 nm, con una potencia de 5 mW. Para controlar la cantidad de luz que incidía sobre la muestra se ubicó un polarizador lineal a la salida del haz y para eliminar las componentes despolarizadas de la luz esparcida por la muestra se utilizó un analizador a la entrada de la cámara. Para realizar el secado de los granos de café se implementó una cámara de secado que los calentaba a una temperatura de 50°C, con un error de más o menos un grado y que permitía la incidencia del haz láser sobre la muestra, así como el registro del patrón speckle que se producía. Para la adquisición y procesamiento de la información se utilizó un computador portátil con procesador i3, 2 MB de memoria RAM y disco duro de 500 GB. La disposición de los elementos utilizados para el registro de los patrones speckle se presenta en la Figura 1.

Metodología de referencia

Se recolectaron 10 muestras de café variedad Castillo provenientes de dos fincas del municipio de Caldon (Cauca), compuestas por 10 cerezas cada una. Se seleccionó aleatoriamente una cereza de cada muestra para conformar el grupo de referencia, se les retiró la cáscara, se fermentaron durante 48 horas y se lavaron; posteriormente se dejaron escurrir durante 30 minutos, para asegurar un contenido de humedad ini-

Figura 1. Esquema del sistema implementado.



cial de aproximadamente 53% [25]. El paso siguiente fue seleccionar 10 granos de café sanos, obtener las almendras, pesarlas individualmente en una balanza digital, con una precisión de 1 mg, registrar su peso e introducir las en la cámara de secado precalentada a $50 \pm 1^\circ\text{C}$. Una vez iniciado el secado se registró el peso a intervalos de una hora durante 12 horas. Con los datos obtenidos, se determinó la humedad en la almendra usando el método gravimet [25],

$$h(t) = \left[1 - \frac{p_0(1-h_0)}{p(t)} \right] \times 100\% \quad (\text{Ec.1})$$

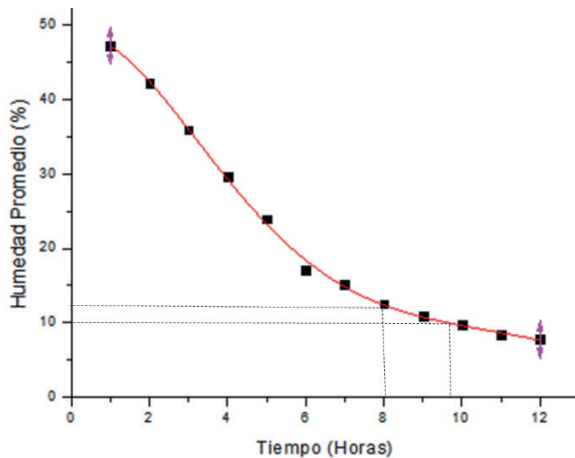
Donde $h(t)$ es el porcentaje residual de humedad en la muestra de café, h_0 es el porcentaje inicial de humedad, p_0 es el peso inicial del café y $p(t)$ es el peso de la muestra al tiempo t .

Para establecer el comportamiento de la humedad en función del tiempo de secado se promediaron los valores obtenidos a cada hora, lo que generó la curva promedio de secado para almendras desnudas que se presenta en la Figura 2. En ella se observa que el rango de humedad idónea para el almacenamiento del café pergamino seco, bajo las condiciones descritas, se alcanza entre las ocho y diez horas de secado.

De acuerdo a Jurado et al [25], el método gravimet presenta una desviación máxima de 1,62% respecto a la norma ISO 6673, lo que lo hace adecuado para cuantificar el contenido de humedad residual que contienen los granos de café durante el secado.

Metodología propuesta

Para realizar el estudio del comportamiento del speckle dinámico durante el secado se seleccionó una cereza, de las restantes, al azar, se le realizó el mismo procedimiento de beneficio descrito anteriormente, hasta llevarla a la condición de humedad

Figura 2. Curva de secado a 50°C para almendras desnudas.

del 53%, se le retiró la envoltura a la almendra y se introdujo en la cámara de secado, de tal forma que las condiciones fueran similares a las utilizadas en el método de referencia. Se iluminó la almendra con luz láser y se registró un video de 60 segundos de duración por cada hora de secado. Este procedimiento se repitió para cinco almendras diferentes, permitiendo obtener cinco videos del comportamiento del speckle dinámico durante el proceso de secado de los granos de café.

A los videos registrados se les aplicó un análisis de correlación, comparando el primer cuadro registrado con cada uno de los cuadros sucesivos. El objetivo de esta comparación fue obtener el grado de similitud estadística que se presenta entre las imágenes de video. Para realizarlo se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson [26,27]:

$$r = \frac{\sum_m^M \sum_n^N (I_a(m,n) - \bar{I}_a)(I_b(m,n) - \bar{I}_b)}{\sqrt{\sum_m^M \sum_n^N (I_a(m,n) - \bar{I}_a)^2 \sum_m^M \sum_n^N (I_b(m,n) - \bar{I}_b)^2}} \quad (\text{Ec.2})$$

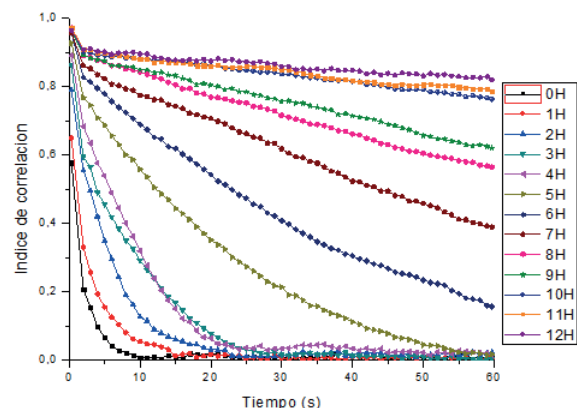
donde r está comprendido entre 0 y 1 y representa el índice de correlación entre las imágenes I_a e I_b ; m y n son las coordenadas de los píxeles, mientras que \bar{I}_a e \bar{I}_b representan la intensidad promedio de cada imagen. Un valor de r cercano a 1 significa que existe una similitud muy alta entre los *frames* comparados, mientras que un valor cercano a 0 significa que existe muy poca similitud entre ellos [28]. Por lo tanto, si la actividad del speckle dinámico es alta, el índice de correlación decrecerá rápidamente en el tiempo; por otra parte, si la actividad es baja, el índice de correlación variará lentamente.

RESULTADOS

Las curvas de correlación obtenidas para una de las muestras de café analizadas se presentan en la Figura 3. Donde cada curva dentro de la gráfica corresponde a un tiempo de secado específico, ilustrado en el código de la derecha. Allí, se puede observar que al comienzo del proceso (0H corresponde a 0 horas) se presenta un rápido decrecimiento de la curva, que pasa de un coeficiente de correlación de aproximadamente 0,9 a valores cercanos a cero en aproximadamente 10 s. Esto significa que el grado de similitud entre los cuadros de video decrece rápidamente, situación que se puede explicar por la alta actividad que se presenta en el proceso registrado, que a su vez es originada por la evaporación de un alto porcentaje del agua contenida en la muestra, lo que es consistente con la gran pérdida de peso al inicio del secado.

A medida que el tiempo de secado transcurre, el índice de correlación disminuye más lentamente, lo que se manifiesta como una disminución en la pendiente de las curvas obtenidas. Este comportamiento se puede explicar con la reducción paulatina de la cantidad de agua que se evapora de los granos y que se manifiesta como una disminución en la dinámica del fenómeno registrado en el video correspondiente.

Se observa también, que, para un grano con alrededor de ocho horas de secado, el coeficiente de correlación cambia desde 0,9 hasta 0,6 aproximadamente y de acuerdo a la Figura 2, es este el tiempo de secado en el que se tiene un porcentaje de humedad de aproximadamente 12%, por lo que el grano

Figura 3. Curvas de correlación obtenidas para secado a una temperatura de 50 °C.

de café ha alcanzado un contenido de agua que está en el rango aceptado para su almacenamiento. En el cuadro 1 se presentan los valores del índice de correlación, después de un minuto de video, tanto para una humedad del 12% como para el 10%. Esto permite inferir que cuando la curva de correlación alcanza un valor comprendido entre 0,57 y 0,81 el café pergamino seco está en el rango de humedad idóneo para su comercialización.

Con el propósito comprobar que los tratamientos, coeficiente de correlación – tiempo de secado, muestran diferencias significativas, se realizó un análisis de varianza, ANOVA [29], obteniéndose un valor de $p = 0$, lo cual permite inferir que las medias poblacionales difieren significativamente entre sí, es decir, que los índices de correlación varían según el grado de humedad de los granos y no por producto del azar. Los resultados de este análisis de varianza se presentan en el cuadro 2.

Para ver la separabilidad entre grupos correspondientes a diferentes contenidos de humedad, se realizó un análisis multicomparativo que permite observar el contraste de un grupo determinado en comparación con los 11 restantes. En este caso, el interés se centra particularmente en los grupos 7 y 8, que muestran grados de humedad cercana al ideal (ver Figura 2) y que a su vez representan la frontera entre café húmedo y café seco. En el caso del grupo 8, que representa el comportamiento cuando el café ha alcanzado el límite inferior de humedad óptima, se observa que éste es significativamente diferente de los demás, como se muestra en la Figura 4, con lo que se corrobora que la metodología propuesta permite determinar si el café pergamino seco está listo para ser comercializado.

Cuadro 1. Valores de correlación obtenidos después de 8 y 10 horas de secado (humedad del 12% y 10%).

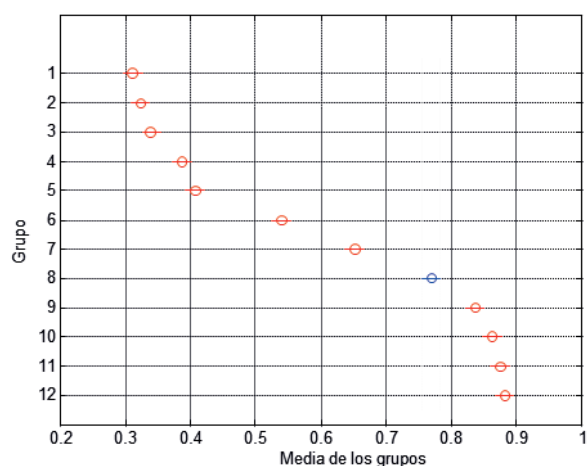
Muestra	Índice de Correlación	
	12%	10%
M1	0,57	0,78
M2	0,65	0,81
M3	0,56	0,79
M4	0,62	0,80
M5	0,58	0,76
Promedio	0,60	0,79
Varianza	0,03	0,02

Cuadro 2. Tabla de análisis de varianza.

Fuente	SS	GL	CM	F	P>F
Factor	111,81	11	10,16	1425,44	0
Error	15,23	2136	0,01		
Total	127,04	2147			

SS Suma de cuadrados, GL. Grados de libertad, CM Cuadrado medio, F estadístico F.

Figura 4. Separabilidad del grupo 8, humedad ideal, del resto de grupos.



CONCLUSIONES

Los datos arrojados permiten concluir que es posible establecer una relación de proporcionalidad entre el contenido de humedad en los granos de café y las variaciones del patrón de speckle dinámico registrado al iluminar el grano durante sesenta segundos, por lo que esta técnica surge como una alternativa promisoría para el desarrollo de un sistema de medida del contenido de humedad en café pergamino seco, de manera rápida, confiable y no invasiva, que podría ser utilizado en los sitios de compra.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Cauca y de manera particular a la Vicerrectoría de Investigaciones, por su apoyo para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] RATTAN, S., PARANDE, A.K., NAGARAJU, V.D. and GHIWARI, G.K. A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(9), 2015, p. 6461-6472.
- [2] PUERTA, G. Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé*, 51(1), 2000, p. 5-19
- [3] ARISTIZABAL, C., y DUQUE, H. Caracterización del proceso de beneficio del café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Cenicafé*, 56(4), 2005, p. 299-318.
- [4] MURTHY, P. and NAIDU, M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition-A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 2012 p. 45-58.
- [5] GHOSH, P. and VENKATACHALAPATHY, N. Changes in physico-chemical properties of coffee due to hot air assisted microwave drying. *International Journal of Processing and Post-Harvest Technology*, 6(1), 2015, p. 80-90.
- [6] SELMAR, D., BYTOF, G. and KNOPP, S. The storage of green coffee (*Coffea arabica*): decrease of viability and changes of potential aroma precursors. *Annals of Botany*, 101, 2008, p.31-38.
- [7] ABREU, L., VEIGA, A., VON PINHO, E., MONTEIRO, F. and VEIGA, E. Behavior of coffee seeds to desiccation tolerance and storage. *Journal of Seed Science*, 36(4), 2014, p. 399-406.
- [8] MENDOÇA, J., FRANCA, A. and OLIVEIRA, L. A comparative evaluation of methodologies for water content determination in green coffee. *Lebensmittel-Wissenschaft und-technologie*, 40, 2007, p. 1300-1303.
- [9] BARBIN, D., DE SOUZA, A., MADUREIRA, F., SUN, D., NIXDORF, S. and YOKO, E. Application of infrared spectral techniques on quality and compositional attributes of coffee: An overview. *Food Research International*, 61, 2014, p. 23-32.
- [10] SOLTANI, M., TAKAVER, A. and ALIMARDANI, R. Moisture content determination of oilseeds based on dielectric measurement. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4), 2015, p. 313-318.
- [11] BICHO, N., LEITÃO, A., RAMALHO, J. and LIDON, F. Use of colour parameters for roasted coffee assessment. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32(3), 2012, p. 436-442.
- [12] OLIVEROS, C., PEÑUELA, A. y PABON, J. Gravimet SM: Tecnología para medir la humedad del café en el secado en silos. *Avances Técnicos Cenicafé*, 433, 2014, p. 1-8.
- [13] SEAL, K., SHARONI, A., MESSMAN, J., LOKITZ, B., SHAW, R., SCHULLER, I., SNIJDERS, P. and WARD, T. Resolving transitions in the mesoscale domain configuration in VO2 using laser speckle pattern analysis. *Scientific Reports*, 4, 2014, p. 1-7.
- [14] AMARAL, I., BRAGA, R., MENDES, E., SOUZA, E., ABREU, E. and REZENDE, A., Application of biospeckle laser technique for determining biological phenomena related to beef aging. *Journal of Food Engineering*, 119, 2013, p.135-139.
- [15] CARDOSO, R. and BRAGA, R. Enhancement of the robustness on dynamic speckle laser numerical analysis. *Optics and Lasers in Engineering*, 63, 2014 p. 19-24.
- [16] ZDUNEK, A., ADAMIĄK, A., PIECZYWEK, P. and KURENDA, A. The biospeckle method for the investigation of agricultural crops: A review. *Optics and Lasers in Engineering*, 52, 2014, p. 276-285.
- [17] PREETI, M. and NIRALA, D. Bio-activity assessment of fruits using generalized difference and parameterized Fujii method. *Optika*, 125, 2014, p. 314-317.
- [18] NASSIFAB, R., PELLENA, F., MAGNÉC, F., LE JEUNEA, B., BRUNA, G. and ABBOUD, M. Laser speckle dynamic for monitoring fruits maturation. *Proceedings of SPIE*, 8413, 2012, p. 84131G-1 - 8413-6.
- [19] MULONE, C., BUDINI, N., VINCITORIO, F., FREYRE, C., LOPEZ, A. and REGO, R. Analysis of strawberry ripening by dynamic speckle Measurements. *Proceedings of SPIE*, 8785, 2013, p. 87851X-1-87851X-6.
- [20] AREFIA, A., AHMADI, P., HASSANPOURA, M., MOLLAZADEB, K. and MODARRES, A. Non-destructive identification of mealy apples using biospeckle Imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 112, 2016, p. 266-276.
- [21] ZHONG, X., WANG, X., COOLEY, N., FARRELL, P. and MORAN, B. Application of laser speckle pattern analysis for plant sensing. *Proceedings of SPIE*, 8761, 2013, p. 876102-1 - 876102-6.
- [22] ZHONG, X., WANG, X., COOLEY, N., FARRELL, P. and MORAN, B. Modeling dynamic laser speckle patterns of plant leaves. *Advanced Materials Research*, 694, 2013, p. 1363-1367.

- [23] MEN, S., YAN, L., QIAN, H., LI, N., and YAO, J. Laser Speckle Detection System for Seed Viability Assessment. *Applied Mechanics and Materials*, 556, 2014, p. 3156-3159.
- [24] YANG, L., YOU, S., ZHANG, L., YANG, T., LI, P. and LU, L. Noninvasive vasculature detection using laser speckle imaging in avian embryos through intact egg in early incubation stage. *Biomedical Optics Express*, 4(1), 2013, p. 32-37.
- [25] JURADO, J., MONTOYA, E., OLIVEROS, T. y GARCIA, C. Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Cenicafé*, 60(2), 2009, p.135-147.
- [26] NAKHMANI, A. and TANNENBAUMB, A. A New Distance Measure Based on Generalized Image Normalized Cross-Correlation for Robust Video Tracking and Image Recognition. *Pattern Recognition Letter*, 34(3), 2013, p. 315–321.
- [27] MUKAKA, M. Statistics Corner: a guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 2012, p. 69-71.
- [28] RESTREPO, L. y GONZÁLEZ, J. De Pearson a Spearman. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 2007, p. 183-192.
- [29] ROUDER, J., MOREY, R., SPECKMANC, P. and PROVINCE, J. Default Bayes factors for ANOVA designs. *Journal of Mathematical Psychology*, 56, 2012, p. 356-374