

VI CONGRESO IBÉRICO de Agrolingeniería

5 a 7 de Septiembre | 2011
Universidade de Évora | Portugal



ESTUDIO DE TÉCNICAS PARA LA SUPERVISIÓN DE CALIDAD Y CLASIFICACIÓN DE GRANOS DE CAFÉ TOSTADO: ANÁLISIS DE NUEVAS TECNOLOGIAS

H. Jiménez-Ariza¹, E. C. Correa^{1,2}, B. Diezma¹, V. Díaz-Barcos², B. Meneses³, R. Oteros³

¹LPF-TAGRALIA. Grupo de Investigación. E.T.S.I. Agrónomos. Dpto. Ingeniería Rural. Universidad Politécnica de Madrid. España. E-mail: tatiana.jimenez.ariza@upm.es

²E.U.I.T.Agrícola. Dpto. Ciencia y tecnología aplicadas. Universidad Politécnica de Madrid. España. E-mail: evacristina.correa@upm.es

³SUPRACAFE S.A. Móstoles. España. E-mail: ricardo.otros@supracafe.com

Resumen

El tostado es el paso más importante en el procesamiento del café, responsable de los cambios químicos, físicos, estructurales y organolépticos en el grano. Durante este proceso los granos verdes y secos son sometidos a un tratamiento caracterizado por varias temperaturas aplicadas en fases sucesivas a lo largo del tiempo consignado, que determinará las características finales del producto. El color es el parámetro más empleado para establecer el nivel de tostado del café, aspecto relevante en el momento de evaluar la calidad del producto final. Para la medición del color en el café existe instrumentación específica, colorímetros comerciales desarrollados exclusivamente para esta aplicación. El presente trabajo presenta y compara la instrumentación comercialmente disponible para asistencia en el control de calidad de la industria tostadora de café, y propone otros equipos cuya aplicación podría potencialmente aumentar el nivel de control sobre la operación de tostado aportando información adicional y complementaria a la de la colorimetría, como espectrofotómetros o técnicas de análisis de imagen.

Palabras Clave: Grado de tostado, Colorimetría, Imagen multispectral.

Abstract

Roasting is the most important step in coffee processing, responsible for chemical, physical, structural and sensory changes in the grain. During this process the green and dried beans are treated in a manner characterized by various temperatures applied in several stages over time, which will determine the final product characteristics. Color is the most important parameter used to establish the level of roasting, a relevant aspect when assessing the quality of the final product. In the measure of the color in the coffee, there is specific instrumentation, commercial colorimeters developed exclusively for this application. This paper presents and compares the commercially available instrumentation to aid in quality control of the coffee roasting industry, and proposes other equipments whose implementation could potentially increase the level of control over the roasting operation, providing additional and complementary information to that of colorimetry, such as spectrophotometers and image analysis techniques.

Key Words: Roasting degree, Colorimetry, Multispectral Image.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de color es el procedimiento más empleado en la industria para establecer los grados de tostado en granos de café; el color externo de los granos varía según el tueste de claro a marrón oscuro. La determinación del color se realiza mediante la medición de reflexión de la luz, o mediante inspección visual, en la que el maestro tostador establece el grado de tostado comparándolo con patrones de color *ad hoc*. Se han realizado algunas investigaciones para proveer a la industria de sistemas alternativos de evaluación y predicción de los niveles de tostado basados en distintas técnicas de imagen. El objetivo de este estudio es comparar los resultados de tres procedimientos de medición de tostado de café habituales en la industria, estableciendo la correlación entre sus resultados, así como estudiar la viabilidad de las técnicas de imagen multiespectral (3 canales, centrados respectivamente en el infrarrojo, rojo y azul: IRRB) como procedimiento alternativo en la industria para determinar el grado de tostado del café.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Cinco muestras de café verde arábica, suministradas por la Compañía Supracafé S.A. (Móstoles, España), fueron empleadas, dos de ellas pertenecen al origen Colombia y Colombia Descafeinado, y las tres restantes son mezclas industriales de café de diferentes orígenes codificados como C1, E1, R1, estas tres últimas mezclas dentro de su formulación poseen un porcentaje igual o mayor al 30% de café de origen Colombia.

El lote de cada muestra de café verde fue dividido en seis submuestras (aproximadamente 200 g) estas fueron tostadas con diferentes parámetros de tiempo y temperatura, permitiendo obtener diferentes grados de tostado. Posteriormente se procedió a moler los granos a tamaño de partícula fina (tipo expresso). Cada submuestra fue clasificada por comparación visual con los discos de color Agtron/SCCA, se realizó la medición de las muestras con los colorímetros específicos para café Quantik IR 800, Probat Colorette 3a además de con un espectrofotómetro visible Minolta (400-700 nm), y se procedió a la toma de imágenes de las muestras con una cámara de visión multiespectral (IRRB).

Los datos obtenidos con los colorímetros Quantik y Probat, se encuentran dentro de una escala propia del fabricante, en el caso de los discos de color Agtron/SCCA la escala se compone de ocho discos donde se encuentran ocho niveles de tostado diferentes que van desde el tueste ligero hasta el muy oscuro. SCCA ha asignado a cada disco un número “No. Agtron”, y este es asignado a la muestra que comparada visualmente, más se asemeje a dicho patrón. Estos resultados fueron procesados con el paquete estadístico de Statistica 6.1 para Windows, construyendo modelos de regresión lineal entre las tres técnicas.

Por otro lado, las imágenes multiespectrales fueron analizadas con Matlab 7, el procesamiento básico consistió en una segmentación para considerar únicamente la región de interés y el cómputo de los histogramas relativos de nivel de gris en cada canal.

En el análisis de datos se ha utilizado como referencia la clasificación de los niveles de tostado de las muestras de café según el No. Agtron, para la comparación de los resultados de los colorímetros y las imágenes multiespectrales. Estos discos son ampliamente utilizados en la industria del café para la cuantificación del grado de tostado y su asociación con ciertas características organolépticas generales de cada nivel de tueste identificado con un disco Agtron.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

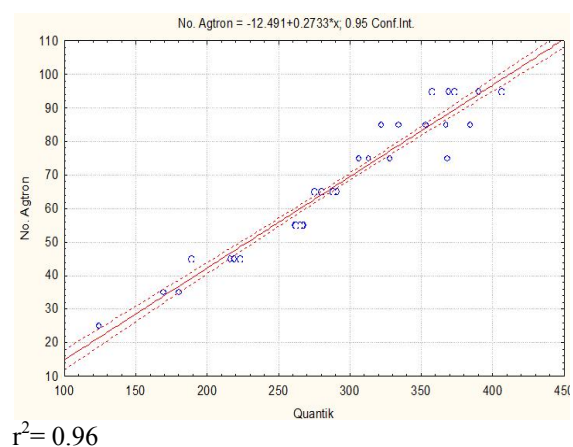
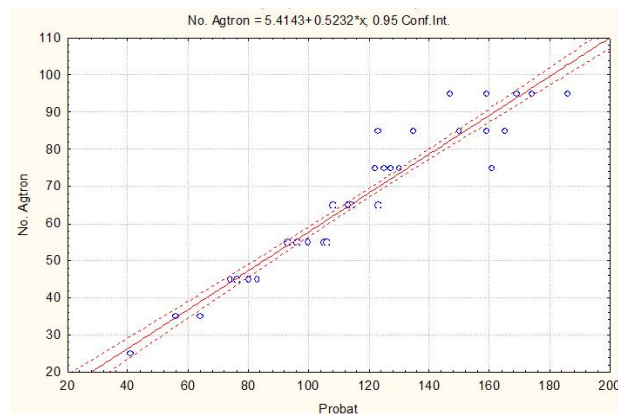
En la Tabla 1 se incluyen los resultados obtenidos para cada disco Agtron/SCCA, según los diferentes sistemas de medida, lo que permite establecer una equivalencia entre los colorímetros.

Tabla 1. Equivalencia de Colorímetros

Descripción	QUANTI	L* (Minolta)	PROBAT	SCCA /AGTRON
Muy oscuro	100	13	43	25
Muy oscuro	101	13.04	56	35
Oscuro	139	14.43	56	35
Medio Alto	173	15.83	69	45
Medio	202	17.22	85	55
Medio Ligero	228	18.66	95	65
Ligero	269	21.24	108	75
Muy Ligero	330	29.32	121	85
Muy Ligero	349	31.09	134	95

La comparación entre los datos correspondientes a las mismas muestras pero obtenidos con distintas técnicas instrumentales, mediante la aplicación de modelos de regresión lineal (ver Figura 1) muestra la elevada correlación existente entre los colorímetros específicos para café y el No Agtron (coeficientes de correlación entre 0,95 y 0,99).

Se obtuvieron ecuaciones de relación entre los variables de salida de los tres instrumentos, lo que permitió obtener un primer modelo para la estimación de los niveles de tostado de un equipo a partir de los obtenidos con cualquiera de los otros dos.. La disponibilidad de estos modelos supone una herramienta muy útil para la industria, ya que a partir del resultado de algunos de los dos colorímetros se puede establecer el valor equivalente en el otro colorímetro y el No. de Agtron, siendo éste último una de las referencias utilizadas internacionalmente para la definición del grado de tueste a nivel tanto industrial como de comercialización del café tostado.



$$r^2 = 0.99$$

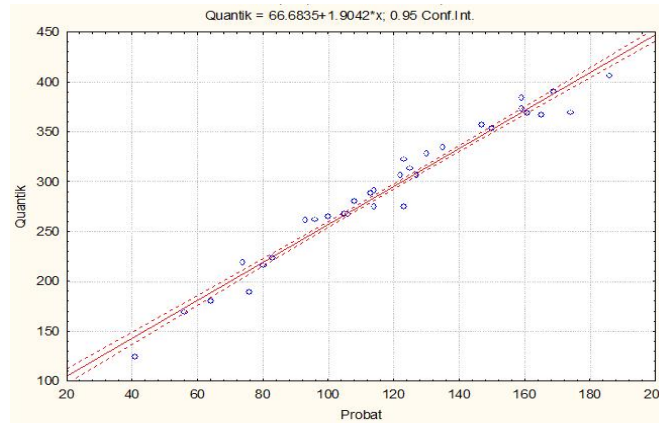


Figura 1. Regresión lineal de los colorímetros (izquierda) No. Agtron vs Probat, (derecha) No. Agtron vs Quatik y Quantik vs. Probat (abajo)

En relación a la imagen multiespectral, la Figura 2 representa los histogramas relativos (0-255 niveles de gris) de las imágenes del canal Rojo correspondientes a los diferentes niveles de tueste para las muestras de café Colombia y café C1 respectivamente. Se puede observar la ordenación de los histogramas de izquierda a derecha, coincidente con los resultados obtenidos con la clasificación de las muestras con el No. Agtron, desde tueste muy oscuro (No. Agtron 45, histograma situado en el extremo izquierdo) hasta tueste muy ligero (No. Agtron 95, histograma situado en el extremo derecho).

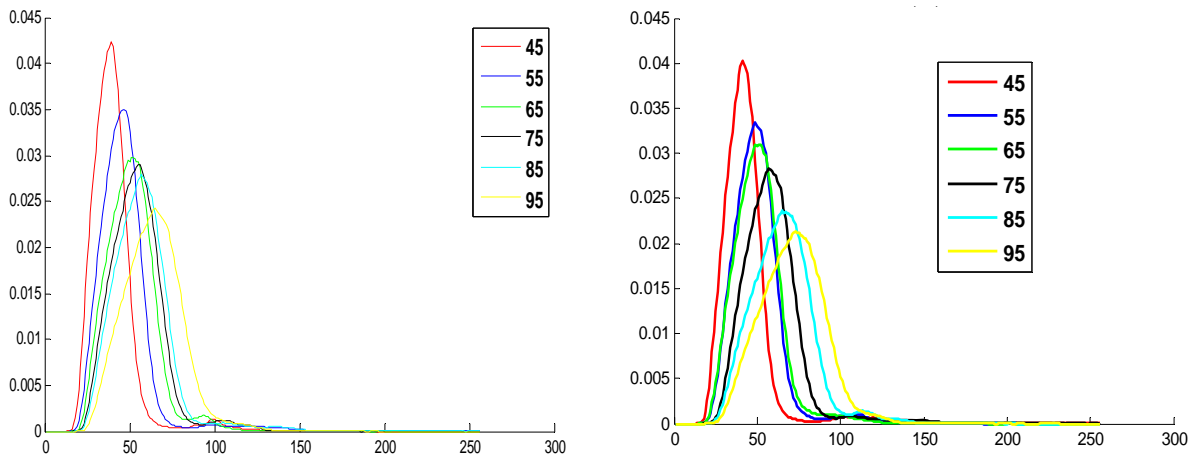


Figura 2. Histogramas relativos de los niveles del gris del canal Rojo correspondientes a diferentes niveles de tueste del Café Colombia (izquierda) y Café C1 (derecha)

Se crearon sendas matrices incluyendo todos los histogramas relativos de los canales infrarrojo (IR) y rojo (R) para 28 muestras diferentes de las cinco variedades de café y se aplicó un procedimiento de clasificación no supervisada basado en método de Ward (Lunadei, et al 2011) que agrupa los individuos en conglomerados según ¿poner el criterio?. En la Figura 3 se muestra el dendrograma correspondiente al canal IR. El análisis del dendrograma permitió identificar 5 grupos o conglomerados estableciendo una distancia de corte de 0,1. Se siguió un procedimiento análogo en el dendrograma del canal R, en este caso estableciendo el punto de corte a una distancia de 0,13 (ver Figura 4).

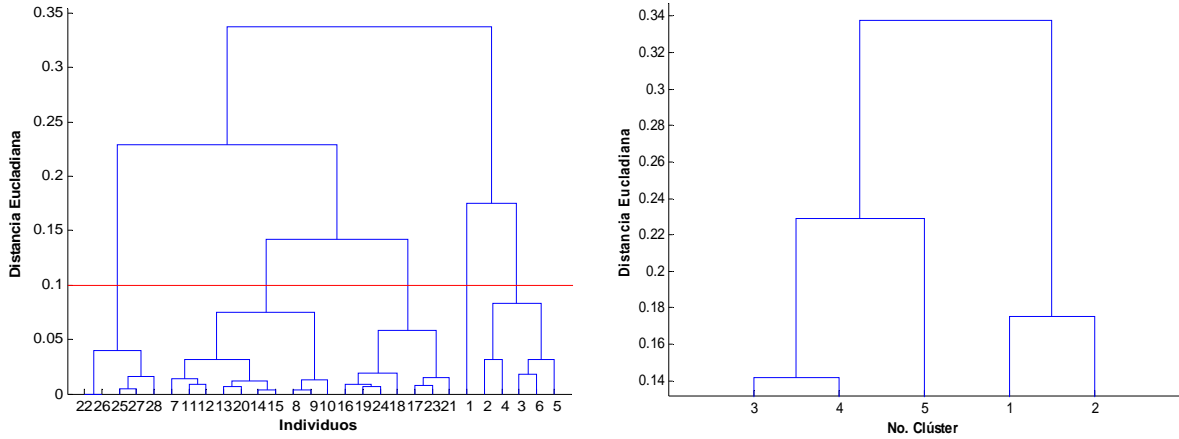


Figura 3. Análisis de conglomerado no supervisado para el Canal Infrarrojo

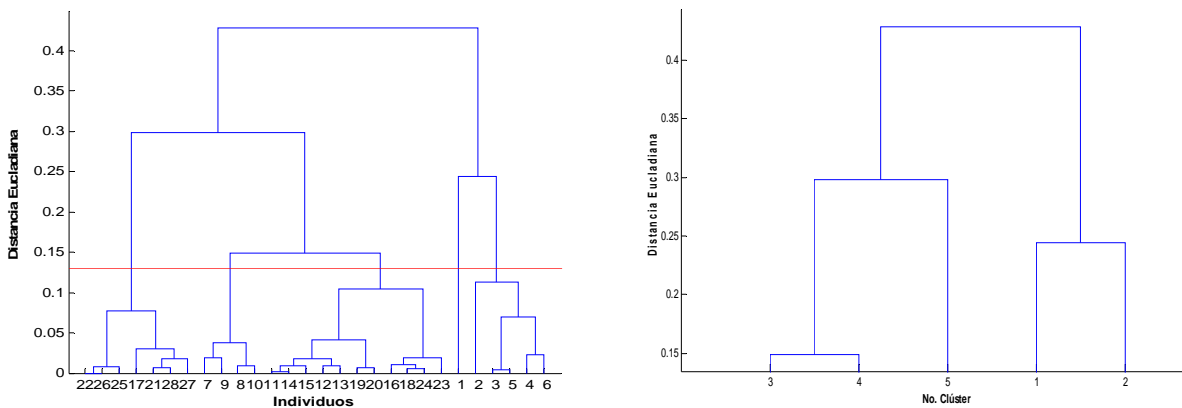


Figura 4. Análisis de conglomerado no supervisado para el Canal Rojo

La Figura 5 muestra los histogramas relativos medios de los conglomerados identificados según el canal IR (izquierda) y el canal R (derecha). Se puede observar una dispersión de las modas de estos histogramas entre los niveles de intensidad de 50 y 150 para el canal IR, y entre 25 y 75 en el canal R. Nótese que histogramas con modas en niveles de intensidad de gris mayores, deben corresponder con tostados menos intensos.

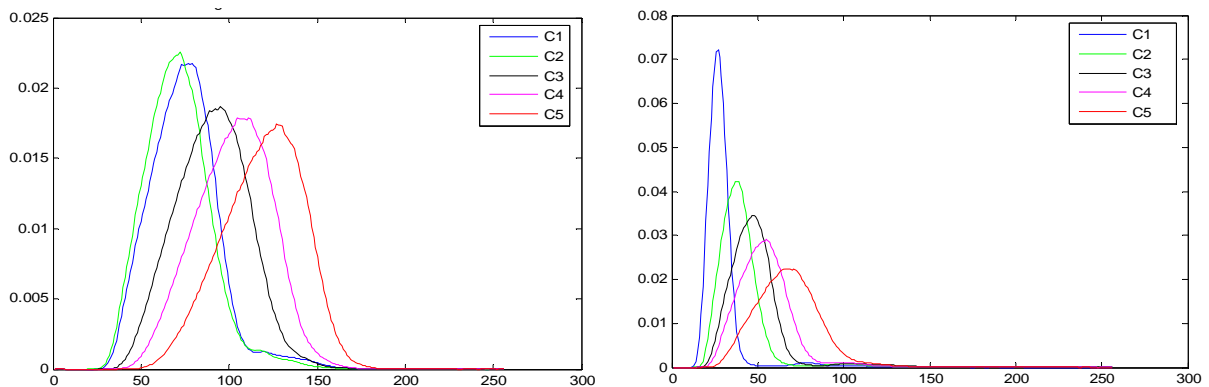


Figura 5. Histogramas medios por conglomerado canal IR (izquierda) canal R(derecha)

La identificación de los individuos incluidos en cada conglomerado permite establecer una relación entre los conglomerados y los diferentes niveles de tostado según el No. Agron. La Tabla 2 muestra a qué niveles de tostado según el No. Agron corresponden los individuos incluidos en cada conglomerado y consecuentemente se establece la identificación del tipo de individuos que conforman cada clase como muestra la Tabla 3. Se puede observar que el

canal R muestra menor capacidad de discriminación para menores niveles de tostado (tostados claros con No. Agtron 75, 85 y 95).

Tabla 2. Composición de los conglomerados según el nivel de tostado. Se indica el número de muestras incluidas en cada conglomerado y su nivel de tostado según el No. Agtron. Canal IR (izquierda) y canal R (derecha)

	C1	C2	C3	C4	C5
25	1				
35		1			
45		4			
55			4		
65			5		
75			1	4	
85				3	
95					5

	C1	C2	C3	C4	C5
25	1				
35		1			
45		4			
55			4		
65				5	
75				4	1
85				2	1
95					5

Tabla 3. Identificación de Conglomerados con niveles de tostado según el No. Agtron para los canales IR y R

Canal Infrarrojo	Conglomerado	C1	C2	C3	C4	C5
	No. Agtron	25	35 y 45	55 y 65	75 y 85	95
Canal Rojo	Conglomerado	C1	C2	C3	C4	C5
	No. Agtron	25	35 y 45	55	65, 75 y 85	95

Adicionalmente se procedió a realizar un análisis de componentes principales (PCA) sobre los histogramas relativos de los canales IR y R. Sobre las proyecciones de los individuos en el segundo componente principal (PC2) se realizó un análisis de varianza (ANOVA). El PC2 correspondiente al análisis del canal IR tiene un porcentaje de varianza explicada del 18,18% y el correspondiente al canal R del 18,06%. La Figura 6 muestra la representación de la proyección de los individuos en el plano conformado por el PC1 y el PC2. El análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas entre las 5 muestras (Colombia, Colombia Descafeinado, mezcla C1, mezcla E1 y mezcla R1), pero sí entre niveles de tostado, con un valor de F de 72,16 para un α de 0,05 en el canal IR y un valor de F de 71,92 para un α de 0,05 en el canal R.

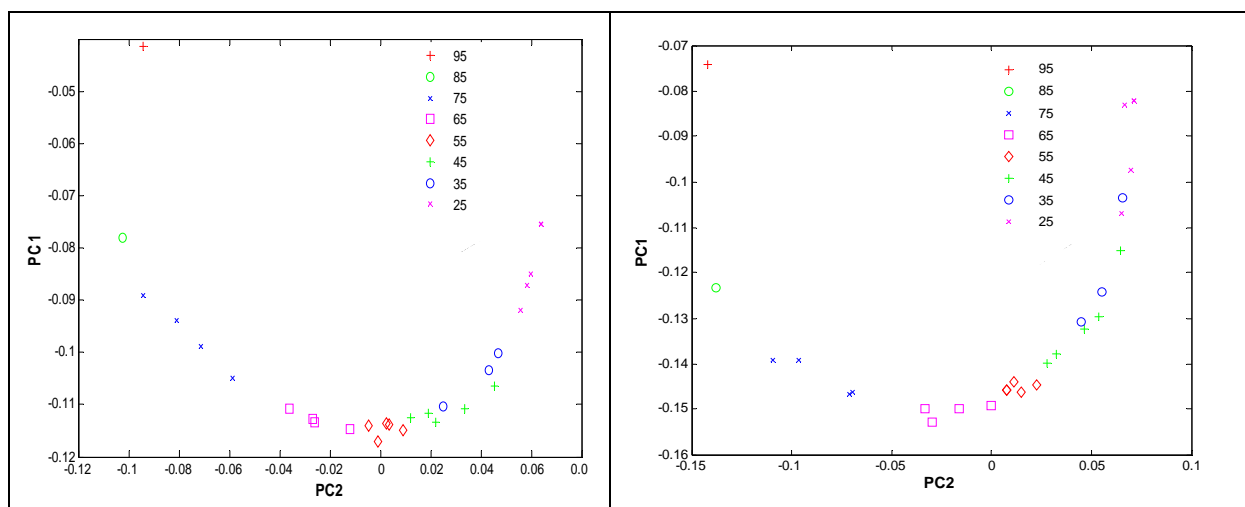


Figura 6. Proyección de las muestras del PC2 vs. PC1 canal IR (izquierda) y canal R (derecha)

4. CONCLUSIONES

Con este trabajo hemos establecido relaciones entre los discos Agtron/SCCA y los otros procedimientos de clasificación del nivel de tostado del café. Los modelos que se proponen permiten extrapolar las determinaciones realizadas con los colorímetros industriales al No. Agtron correspondiente y, por tanto, a las características organolépticas asociadas.

Por otro lado, los resultados obtenidos utilizando la cámara IRRB y el análisis de histogramas de los canales IR y R, muestran el potencial de esta técnica como herramienta novedosa y eficiente para identificar los diferentes niveles de tostado de café, presentándose como una opción viable para el seguimiento continuo y control en tiempo real del proceso y calidad del tostado de café. Los distintos análisis estadísticos aplicados a los histogramas relativos permiten concluir que el canal IR permite una mejor discriminación entre los niveles de tostados suaves, mientras que el canal R distingue mejor entre los niveles de tostados comerciales para la variedad de café estudiada (No. Agtron 55 y 65).

Para validar el análisis de las imágenes multiespectrales es necesario contar para una misma variedad y características de tostado (No. Agtron) con un mayor número de muestras de café, lo que se propone para la siguiente etapa de estudio.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del presente trabajo al MICINN y a la Universidad Politécnica de Madrid a través de los proyectos SMART QC (AGL2008-05267-C03-03/ALI) y AL10-PID-30 respectivamente.

6. BIBLIOGRAFIA

- Alessandrini, L., Romani, S., Pinnavaia, G., & Rosa, M. D. (2008). Near infrared spectroscopy: An analytical tool to predict coffee roasting degree. *Analytica Chimica Acta*, 625(1), 95-102.
- Correa E.C., Barreiro P., Hills B., Bongaers E., Jiménez T., Melado A., Diezma B., Meneses B., Oteros R. (2011). Prospective of Innovative Technologies for Quality Supervision and Classification of Roasted Coffee Beans. *CIGR Section 6*, Abril 2011, Nantes-Francia
- Hernández, J. A., Heyd, B., Irls, C., Valdovinos, B., & Trystram, G. (2007). Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. *Journal of Food Engineering*, 78(4), 1141-1148.
- Hernández, J. A., Heyd, B., & Trystram, G. (2008). Prediction of brightness and surface area kinetics during coffee roasting. *Journal of Food Engineering*, 89(2), 156-163.
- Lleó, L., Barreiro, P., Ruiz-Altisent, M., & Herrero, A. (2009). Multispectral images of peach related to firmness and maturity at harvest. *Journal of Food Engineering*, 93(2), 229-235.
- Lunadei, L., Galleguillos, P., Diezma, B., Lleó, L., & Ruiz-Garcia, L. (2011). A multispectral vision system to evaluate enzymatic browning in fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*, 60(3), 225-234.