

Diseño y desarrollo de un aplicativo virtual constructivista como soporte a las prácticas de tostación de café¹

Design and development of a virtual constructivist application to support the practice of coffee roasting

Campo Elías Riaño* Martha Palomino**

* PhD Educación a Distancia y Tecnología Instruccional- NOVA
Magister en Ciencias de la Ingeniería
docente Unviersidad Nacional Abierta y a Distancia

**Magister en educación, UNAD, docente ocasional, Universidad Nacional Abierta y A Distancia, Escuela de Ciencias Sociales Artes y Humanidades

Resumen

El grado de tostación se controla con el tiempo de exposición del grano crudo a una temperatura previamente seleccionada. Las prácticas de la tostación de café son actividades analítico-investigativas, y demostrativas fundamentadas en el constructivismo. Corriente pedagógica que promueve el aprendizaje por descubrimiento, que predica la repetición de las acciones. Acciones que en la educación superior son onerosas por los costos de operación y la disposición del tiempo de los estudiantes. Razón por la cual en este trabajo tomando como modelo dos relaciones matemáticas obtenidas de datos experimentales, se desarrolló un aplicativo para realizar prácticas virtuales de este proceso con fines académicos. El modelo polinomial se extrajo de las gráficas experimentales diferencias de peso y cambios de color de los granos crudos torrefactados en un tostador eléctrico horizontal. La evaluación de la aplicación arrojó que los estudiantes están de acuerdo acerca del uso de este aplicativo como herramienta de pre-laboratorio, pues facilita la enseñanza, la interacción, y la apropiación de los conceptos para esta operación unitaria pero no como un reemplazo para el experimento real.

Palabras clave: descubrimiento, constructivista, simulación, tostación virtual de café, determinación de color.

Abstract

The degree of roasting is controlled by the exposure time of the raw grain to a preselected temperature. The practice of roasting coffee are analytical and investigative and demonstration activities grounded in constructivism. Pedagogical theory that promotes discovery learning, which preaches the repetition of actions. Shares in higher education are onerous for the costs of operation and setup time students. Why in this study modeled two mathematical relationships derived from experimental data, an application developed for virtual practices of this process for academic purposes. The polynomial model extract experimental weight-difference graphs and color changes from green beans roasted in a horizontal electric toaster. The evaluation of the implementation throw that students agree on using this application as a tool for pre-lab, it facilitates learning, interaction, and the appropriation of concepts for this unit operation but not as a replacement for the actual experiment.

Keywords: discovery, constructivist, simulation, virtual coffee roasting, determination of color.

1. Artículo derivado del proyecto de investigación PG_14- Enfoque e implementación de un entorno virtual de prácticas para la enseñanza y el aprendizaje de un curso metodológico experimental: Tecnología de café; de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Recibido: 12/10/2014

Revisado: 04/11/2014

Aceptado: 09/12/2014

Correspondencia de autor:

campo.riano@unad.edu.co

© 2014 Universidad La Gran Colombia. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia *Creative Commons Attribution License*, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acrediten.

Cómo citar:

Riaño, C. y Palomino M. (2014). Diseño y desarrollo de un aplicativo virtual constructivista como soporte a las prácticas de tostación de café. *UGCiencia* 20. 32-38

Introducción

La tostación de café es una operación unitaria mediante la cual se remueve agua por evaporación y se transforma el color del grano de café crudo-verde en grano tostado de color (oscuro-varias) tonalidades de carmelito, grano que posteriormente es utilizado en la preparación de la bebida-taza de café con todos los aromas-compuestos volátiles que caracterizan y lo hacen apetitoso (Clarke 1985). Durante la tostación, se llevan a cabo fenómenos de transferencia de masa, de calor y reacciones químicas, interrelacionados entre sí, los cuales dependen del estado, las propiedades estructurales y la composición del grano de café (Herrera & Riano, 1996; Pittia, Dalla, & Lericí, 1996; Burmester, K. & Eggers, R., 2010) lo que hace difícil su estudio (Eggers & Pietsch, 2001; Burmester, K. & Eggers, R., 2010), condicionándolo al uso de pruebas a pequeña escala (Bisio), 1976; Treybal, 1988; Schwartzberg, 2002;), necesarias para definir los parámetros de proceso y la calidad (Banggenstoss, Poisson, Luethi, Perren, & Escher, 2007). Acorde con varios autores (Treyball, 1988; Araya-Farías, Ratti, 2009; Derossi, Severini & Cassi, 2011) la tostación es expresada como un cambio en una propiedad- N_w de un material (de área A y masa seca m) sometido a un tratamiento físico-como la temperatura T , durante un tiempo de proceso- t como lo propone la ecuación 1.

$$N_w = - \frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad [1]$$

El tiempo de exposición al calor y la temperatura alcanzada son factores importantes que producen o favorecen cambios en la tostación (Herrera & Riaño, 1996; Illy & Viani, 1996; Méndez, de Meneses, Aparecida & da Silva, 2001). Para determinar el(los) punto(s) de tostación el experto tuesta café a diferentes tiempos de proceso y observa directamente el cambio del color de los granos y después evalúa con instrumentos calibrados los cambios físicos, y con un panel de evaluación sensorial corrobora la diferencias en el aroma y el sabor (Illy & Viani, 1996). Prácticas que igualmente se deben realizar a nivel universitario, de manera que estas prácticas en el curso de tecnología del café; son importantes, debido a que en estas el estudiante disipa dudas, comprueba los aspectos teóricos y fortalece su aprendizaje a través del descubrimiento como lo propone Bruner (1966). Este modelo de aprendizaje constructivista es aplicado al curso de tecnología de café, el cual es orientado hacia el desarrollo de competencias cognitivas, meta cognitivas, sociales y disposiciones afectivas como lo estipula Birembaum (1996, en Vizcarro, 2003). Las competencias meta cognitivas que el estudiante debe adquirir en un laboratorio de Tecnología

de Café tradicional son: a) Conocer el funcionamiento de los equipos de proceso y de medida más habituales como: Colorímetro y tostador, entre otros; b) Desarrollar habilidades y criterios para la toma de datos, tanto en el cuidado de la medición como en los factores que influyen en el análisis de los mismos, y, c) Dominar técnicas básicas de representación gráfica y de ajuste de datos; en consonancia con la teoría constructivista (García & Gil, 2006). Pero en las prácticas en los sistemas de enseñanza a distancia, los estudiantes deben presentarse en un sitio y horario definidos, a pesar de que el resto del aprendizaje se realiza con mayor libertad de horario y lugar. Igualmente a juicio de los estudiantes estas actividades analítico-investigativas y demostrativas se presentan una sola vez por práctica por los costos de los materiales, el espacio en el laboratorio y la disposición de equipo, entre otros. Este es el punto en el cual la simulación juega un papel especial pues permite analizar si el cambio de elementos trae las modificaciones requeridas sin gastos de materia prima y sin presencialidad (Casadei, Cuicas, Debel & Alvarez 2008; Riaño & Palomino, 2013). Entonces acorde con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar una aplicación para computador que considere tanto el proceso de pérdida de peso como la variación del color, a partir de un modelo polinomial obtenido de las gráficas experimentales de la tostación.

Desarrollo

La primera etapa para desarrollar cualquier proceso de simulación-es diseñar y aplicar un modelo matemático del sistema o proceso real con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias alternativas durante la operación de un sistema (Marinos-Kouris, Maroulis & Kiranoudis, 1996; Hlupic, 1999; Wang, Fon & Fang, 2004; Sagarminaga, Pérez, López & Cotos, 2007; Araya-Farías & Ratti, 2009). A la fecha se conocen tres grandes líneas de desarrollo de estos modelos matemáticos: a) los que buscan explicar el proceso en función de las propiedades físico-químicas de los materiales, y centran su objetivo en la aplicación de la segunda ley de Fick; b) los que buscan explicar el proceso en función de las propiedades macroscópicas de los sistemas, utilizando coeficientes globales de transferencia o constantes que agrupan condiciones o propiedades; y c) los que buscan describir los procesos, en función de la respuesta experimental, en los que se busca la correlación de algún parámetro de operación o variable de proceso, en la respuesta del sistema (Mwithiga & Jindal, 2003; Araya-Farías & Ratti, 2009), razón por la cual en este estudio trabajamos la opción c), la cual implica: 1) disponer de datos experimentales para, 2) generar un

modelo matemático con los principales parámetros que en él intervienen y, 3) desarrollar un *software* de aplicación que simule el proceso (Parra, Roa y Oliveros, 2008; Casadei, Cuicas, Debel y Alvarez 2008; Araya-Farias & Ratti, 2009). Para el efecto se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cinco tratamientos (Montgomery, 2001). El café tostado se caracterizó analíticamente, los resultados fueron sometidos al análisis de estadística descriptiva, con estos datos se hallaron las ecuaciones que rigen el proceso físico-utilizando el programa Excel. Y con las relaciones matemáticas obtenidas se construyó un aplicativo virtual, el cual se evaluó a través de una encuesta (Riaño & Palomino, 2012).

Materiales y métodos

A partir de datos experimentales de la tostación, se obtuvieron las ecuaciones polinomiales que describe independientemente el cambio de color (C) y la variación del peso (P) al variar el tiempo (t) durante el proceso de tostación, utilizando el método de mínimos cuadrados, ver Ec. (2).

$$X = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad [2]$$

Y con la derivada de esta relación se obtuvo la ecuación polinomial de grado dos, que describe la velocidad de la tostación (pérdida de peso para este caso).

$$dX/dt = \{2a_2 t + a_1\} \quad [3]$$

$$(m_s/A) dX/dt = (m_s/A) \{2a_2 t + a_1\} \quad [4]$$

Con la cual se obtendría el tiempo de tostación:

$$t = \frac{m_s}{A} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dX}{(b_0 + b_1 X + b_2 X^2)} \quad [5]$$

De manera similar, se encuentra el polinomio que describe el cambio del color (DC_{olor}), durante el tiempo de tostado. Estos polinomios serán utilizados para el desarrollo de una aplicación que permita a los estudiantes adquirir competencias para mejorar la construcción de hipótesis, la interpretación gráfica y habilidades de predicción.

En estas ecuaciones m_s es la masa total del café cargado y A es el área superficial del grano.

Materias primas: Se utilizó café crudo arábico variedad Colombia, calidad excelso beneficiado en húmedo (12 % de humedad en promedio).

Variables de respuesta: Las variables de respuesta y los equipos utilizados para estas determinaciones analíticas que permitieron determinar el modelo matemático fueron:

Pérdida de peso: expresado como la diferencia de peso entre la carga inicial y la carga final del café en un momento específico de la tostación o tratamiento seleccionado. Cuantificada en una balanza Sartorius 1264 MP.

La humedad del café torrefactado se determinó con el método de la AOAC (1984).

Color: fue determinado en un colorímetro DP 9000 HunterLab (s.f) en donde se leen valores a, b, L (unidades de la reflectancia de la luz), correspondientes a la opacidad, brillo, y luminosidad, respectivamente.

Para evaluar el cambio de color ocasionado por el proceso de tostación, utilizamos el concepto de la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) o coordenadas CIE $L^*a^*b^*$. El valor de L^* representa la luminosidad o claridad y varía entre 0 y 100, mientras que a^* denota el valor rojo/verde y b^* el valor amarillo/azul, son dos componentes cromáticos cuyos valores varían entre -120 y 120. Estos valores fueron determinados para el grano crudo y el grano tostado y molido en un colorímetro IR-800 marca QuantiK- acorde con la norma colombiana Icontec NTC 2442. Los granos fueron molidos hasta una granulometría de 600 micras.

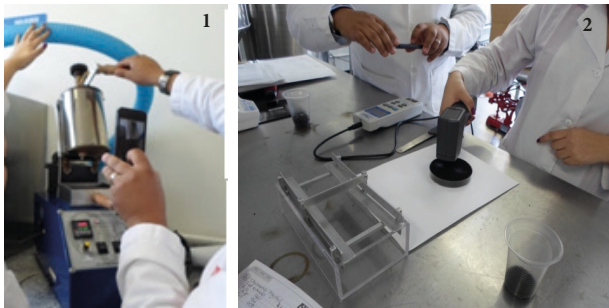
Tostación: Todas las tostaciones fueron realizadas en un torrefactor experimental Probat utilizado en la preparación de muestras para el panel de evaluación sensorial (Icontec, 2004). En este se hicieron diferentes pruebas a temperatura y tiempo de tostación constantes con una mezcla industrial de café crudo. Cada vez se procesaron 130 gramos de café. Las pruebas se realizaron a 225°C. En cada prueba se registró el peso y el color al inicio y durante el proceso de tostación, a fin de establecer diferentes grados de tostación del café. Para el efecto se establecieron cinco tratamientos o tiempos de torrefacción comprendidos entre los 4 y los 15 minutos con seis réplicas. Ver tabla 1.

De cada tratamiento se realizaron cinco repeticiones para obtener las curvas de pérdida de peso y variación de color ver figura 4.

Tabla 1. Información de las condiciones experimentales seguidas-tratamientos.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (°C)	Grado de tostación ICONTEC (2004)
1	225	4	Claro
2	225	6	Medio claro
3	225	10	Medio
4	225	12	Medianamente oscuro
5	225	15	Oscuro

Figura 1. Tostador de la Planta Piloto de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia Sede Mutis utilizado en la tostación del café crudo. Figura 2. Colorímetro Quantik utilizado en la determinación de color.



Gráficas de la tostación del café y modelamiento matemático

Al concluir los tratamientos de tostación para el café crudo, se procedió a realizar las gráficas de pérdida de peso y del oscurecimiento del grano procesado en cada ensayo, graficas en donde se relacionan la merma de peso y la variación del color en función del tiempo del proceso de tostación (t).

A partir de los datos experimentales obtenidos en la tostación del café, utilizando el método de mínimos cuadrados, obtuvimos la ecuación polinomial que describe el cambio de pérdida de peso (X) y la variación del color (DC_{olor}) al variar el tiempo de tostación (t). Con estos polinomios se desarrolló una aplicación de escritorio-tostador virtual para que los estudiantes adquieran competencias procedimentales en este proceso.

Esta herramienta incluye la descripción de la práctica diseñada en un *exe_learning* y una aplicación programada con Action Script 3, lenguaje de programación del Adobe Flash CS6. En esta aplicación se simula el cambio de peso y color del grano en un tiempo determinado (1 a 15 minutos). Esta práctica de laboratorio incluye una evaluación del aprendizaje y de la práctica que permite medir el desarrollo de habilidades para una adecuada tostación de café y la interpretación de los resultados obtenidos.

Después de realizar la práctica completa los estudiantes evaluaron la aplicación y validaron el proceso acorde con una rúbrica convalidada (Riaño & Palomino, 2012).

Resultados y discusión

Los tiempos de proceso para cada tratamiento de tostación fueron: 4; 6; 10; 11; 12 y 15 minutos para los tratamientos 1; 2; 3; 4; 5 y 6 respectivamente, ver tabla 2 y figura 3. En esta se aprecia que el coeficiente de determinación R^2 es de 0,9895.

Los cambios físicos que se dan durante el proceso de tueste se concretan en el color y la masa del grano como se observa en la tabla 2 y las figuras 3 y 4, estando en la dirección de otros trabajos realizados (Herrera & Riaño, 1996; Mwithiga & Jindal, 2003). En las figuras 3 y 4 se observa que la relación entre el tiempo, la pérdida de peso y el oscurecimiento del grano torrefactado.

Igualmente se evidencia que el color es el cambio más visible del grano durante el tostado, el grano se transforma de un verde claro a amarillo, después adquiere un color marrón claro y finalmente obtiene un color marrón casi negro. (Ver figura 4). Por otra parte, los resultados revelaron diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) en la pérdida de peso debido a la duración de la tostación. La pérdida de peso mínima (14,99%) se registró a los seis minutos y la máxima (23,1%) se registró cuando el café se tuesta durante 15 minutos, (ver tabla 1). Con el valor promedio de la pérdida de peso (P_{peso}) en relación al tiempo de proceso (minutos), se construyeron las curvas de pérdida de peso y de color para cada tratamiento (figura 4). A partir de los datos experimentales obtenidos en la tostación del café, se obtuvo la ecuación polinomial que describe el cambio de pérdida de peso (X) al variar el tiempo de tostación (t). Ver ecuación 6 y figura 4.

Figura 3. Datos experimentales de pérdida de peso de café durante la tostación de café crudo con una humedad inicial de 12% y sus modelos de predicción para 4, 6, 10, 12 y 15 minutos.

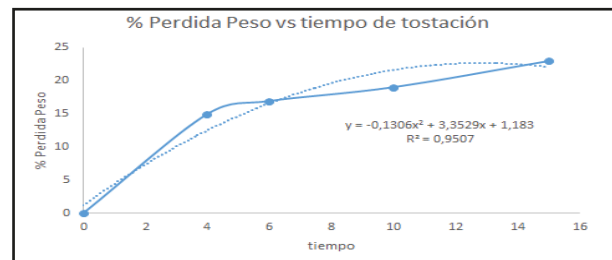


Tabla 2. Duración de la tostación de café y las variables pérdida de peso y color.

Factores	Tiempo de tostación	Pérdida de peso (%)	Cambio en el color del grano
Duración de la tostación	0	0	66
	Cuatro	14.99	22.49
	Seis	16.97	18.95
	Diez	19.06	16.84
	Doce	21	13.2
	Quince	23.1	11.3
CV (%)		12.1	10.5
LSD (5%)		1.7	2.4

$$P_{\text{peso}} = -0,1306t^2 + 3,3529t + 1,183 \quad R^2 = 0,9507 \quad [6]$$

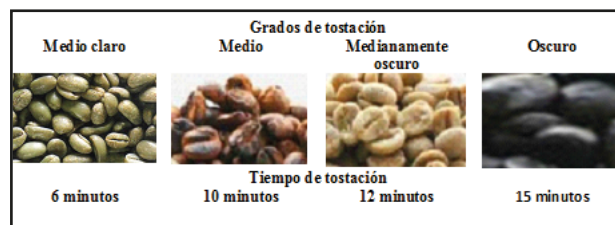
Derivando esta ecuación se obtiene la ecuación polinomial, que describe la velocidad de tostación al variar el peso del grano crudo en el proceso. Ver ecuación 7.

$$d(P_{\text{peso}})/dt = -0,2612t + 3,3529 \quad [7]$$

Al sustituir esta ecuación 7 en la ecuación clásica de pérdida de peso-ecuación 3, reportada por Treybal (1988), obtenemos la ecuación 8.

$$(-ms/\text{Area grano}) (dP_{\text{peso}}/dt) = (-ms/\text{Area grano}) (-0,2612t + 3,3529) \quad \text{Ecuación [8]}$$

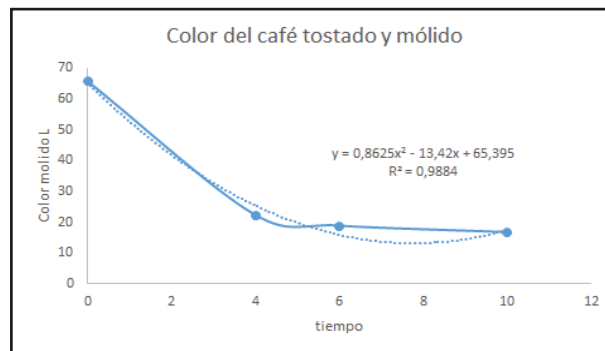
Figura 4. Ejemplo de la variación de color de los cafés tostados



De manera similar a la pérdida de peso, encontramos el polinomio que describe el cambio del parámetro de color (Color tostado), durante el tiempo de tostado. Derivando este, y con los datos de pérdida de peso y los reportados por el colorímetro se obtiene la ecuación que describe el cambio de color en el grano durante el proceso al variar la pérdida de peso. Este modelo se muestra en la ecuación 9.

$$\text{ColorCtostad} = 0,862t^2 - 13,42t + 65,395 \quad R^2 = 0,9884 \quad [9]$$

Figura 5: Datos experimentales de la variación de color durante la tostación de café crudo con una humedad de inicial de 12% y su modelo de predicción.



Los modelos descritos por las ecuaciones 8 y 9, fueron obtenidos y probados utilizando un tostador Probat a escala de laboratorio.

La variación en el color en las muestras torrefactadas de café fue estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en comparación al café crudo, realizando un análisis ANOVA.

A partir de los modelos de pérdida de peso y cambio de color del grano de café propuesto, se desarrolló un aplicativo virtual para la torrefacción de café la cual se encuentra instalado en el curso de tecnología de café como se ve en la figura 6. Esta figura muestra una captura de pantalla de un experimento efectuado en el aplicativo virtual sobre tostación de café crudo desarrollado (http://66.165.175.217/ncontents/file.php/506/2014/Ej-Grafica_de_simulacion_de_la_tostacion.pdf).

Figura 6. Página Web del simulador y secuencias del experimento de tostación virtual de café crudo.



Es una gráfica dinámica en donde el estudiante sigue la variación del color del grano durante la tostación.

Conclusiones

Se cumplieron con las recomendaciones de Esquembre (2005), Parra y Roa (2008) y de Fu (2002), para desarrollar un *software* de aplicación: a) obtención de datos cuantitativos siguiendo un diseño experimental, b) generación de un modelo matemático que permita establecer los principales parámetros que intervienen en un proceso físico-químico, c) desarrollo del *software* de aplicación que simule el proceso de tostación de café, y d) el cuarto es la validación del sistema por los usuarios.

La aplicación desarrollada-simulador permite a los estudiantes apropiarse de los conceptos teóricos para tostar correctamente café. Igualmente el aplicativo permite al usuario o estudiante conocer las variaciones o evolución de las variables durante la tostación de café, pero no permite tostar “correctamente un café”, proceso que depende de muchos factores y de las características del café, como lo acota la Dra. G.I Puerta.

La aplicación se evaluó al finalizar el curso mediante una encuesta anónima proporcionada a los estudiantes. Los resultados muestran que la aplicación fue considerada fácil de entender por la mayoría de los estudiantes.

La evaluación de la aplicación con una rúbrica (Riaño & Palomino, 2012) arrojó que los estudiantes están de acuerdo acerca del uso de esta como herramienta de pre-laboratorio, pues facilita la enseñanza, la interacción, y la apropiación de los conceptos para esta operación unitaria pero no como un reemplazo para el experimento real.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a todas las personas que colaboraron en la realización de la presente investigación, a la UNAD, al grupo de Investigación Social y al ingeniero Adrián Beltrán. Así mismo a la profesora Gloria Puerta por la revisión del artículo.

Este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto de investigación PG_14- Enfoque e implementación de un entorno virtual de prácticas para la enseñanza y el aprendizaje de un curso metodológico experimental: Tecnología de café; de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Referencias bibliográficas

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (1984). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, Maryland, USA: AOAC International.
- Araya-Farias, M., Ratti, C. (2009). Dehydration of Foods: General Concepts, Capítulo de libro: *Advances in Food Dehydration*, New York. Ed. Taylor and Francis Group.
- Banggenstoss, J., Poisson, L., Luethi, R., Perren, R., & Escher, F. (2007). Influence of water quench cooling on degassing and aroma stability of roasted coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6685-6691.
- Bisio, A. (1976). *Scale up in Chemical Process Industries*. Course Notes. The Center for Professional Advacement. P.O. Box H. East Brunswick, New Jersey. EEUU.
- Bruner, J. (1966). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Burmester, K. & Eggers, R. (2010). Heat and mass transfer during the coffee drying process. *Journal of Food Engineering*, 99, p. 430–436.
- Casadei, L., Cuicas, M., Debel, E. & Álvarez, Z. (2008). La simulación como herramienta de aprendizaje en física. *Actualidades Investigativas en Educación*, 8, (2). Recuperado de <http://revista.inie.ucr.ac.cr/articulos/2-2008/archivos/fisica.pdf>.
- Clarke, R. J. (1985). *Coffee, Vol. 2: Technology*. (1st ed). London: Elsevier Applied Science. 383
- Derossi, A., Severini, C., & Cassi, D. (2011). Mass transfer mechanisms during dehydration of vegetable food: traditional an innovative approach. En: EL-AMIN, M. *Advances topics in mass transfer*. 1a ed. Rijeka: InTech. 305-354.
- Eggers, R., & Pietsch, A. (2001). Technology I: Roasting. In R. Clarke, & O. Vitzthum (Eds.), *Coffee recent developments*. p. 90–107. Oxford: Blackwell Science.
- Esquembre, F. (2005). *Creaciones de simulaciones interactivas en Java*. Madrid: Pearson Educación.

- Fu, M. (2002). *Optimization for simulation: theory vs. Practice*. *Inform. J. Comput.*, 14 (3), 192–215.
- García, A. & Gil, M. (2006). Entornos constructivistas de aprendizaje basados en simulaciones interactivas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5 (2). Recuperado de http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen5/ART6_Vol5_N2.pdf
- Guía para entender la comunicación del color. (s.f). *Commission Internationale de l'Eclairage*. (s.f). Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/comunicacion-del-color-artes-graficas/comunicacion-del-color-artes-graficas.pdf>.
- Herrera, E. & Riaño, C.E. (1996). La torrefacción rápida del café y su aplicación en la industria. *Cenicafé*, 47, (4), 187-198.
- Hlupic, V. (1999). Simulation software: users' requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 37, 185-188.
- Icontec. (2004). Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Café tostado en grano y/o molido. *Determinación del grado de tostación*. Bogotá, NTC 2442 Norma Técnica Colombiana. .
- Illy, A. & Viani, R. (1996). *Espresso Coffee. The Chemistry of Quality*. London:Academic Press Ltd.
- Marinos-Kouris D, Maroulis, Z. & Kiranoudis, C. (1996). Computer simulation of industrial dryers. *Drying Technology* 14(5), 971-1010.
- Mendes, L., De Menezes, H., Aparecida, M. & Da Silva, A. (2001). Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. Canephora conillon*) using acceptability test and RSM. *Food Quality and Preference*, 12, p. 153-162.
- Montgomery, K. (2001). *Authentic assessment: A guide for elementary teachers*. New York: Longman.
- Mwithiga, G. & Jindal, V. K. (2003). Physical changes during coffee roasting in rotary conduction type heating units. *Journal of Food Process Engineering*, 26, p. 543-558.
- Parra, A., Roa, G. (2008). Secafé- Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental*, 12 (4), 428-434.
- Pittia, P., Dalla Rosa, M., Pinnavaia, G., & Massini, R. (1996). Evo-luzione di alcune caratteristiche sicche del cafe durante la torrefa-zione. *Industrie Alimentari, Pinerolo*, 35(351), p. 945-950.
- Riaño, C. & Palomino, M. (2012). Laboratorio mixto interactivo y social constructivista en curso no presencial de tecnología de café. *Revista Educación Y Pedagogía*, Vol. Extraordinario 103 – 113.
- Schwartzberg, H. (2002). Modelling bean heating during batch roasting of coffee beans. In J. Welti-Chanes, G. Barbosa-Canovas, & J. M. Aguilera (Eds.), *Engineering and food for the 21st century*. London: CRC Press LLC.
- Sagarminaga, Y., Pérez, J., López, I. & Cotos, J. (2007). Retelab: *Desarrollo de un laboratorio Virtual*. XII Congreso Nacional de Teledetección, p. 391-398.
- Treybal, R. (1988). *Operaciones de Transferencia de masa*. segunda edición. México:McGraw-Hill.
- Vizcarro, C. (2003). *Nuevas Tecnologías para el aprendizaje*. Madrid: Pirámide.
- Wang, D.; Fon, D. & Fang, W. (2004). Development of SAPGD—A simulation software regarding grain drying. *Drying Technology*, 22 (3), 609–625.