

ANÁLISIS DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE CACAO PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE SECADO

HÉCTOR A. TINOCO*
DIANA YOMALI OSPINA**

RESUMEN

El cacao es uno de los productos que demanda el mercado agrícola internacional; algunas compañías han invertido desde sus inicios en investigación y desarrollo, con el fin de obtener nuevos productos. Algunos factores incrementan los costos en los productos derivados del cacao, lo que puede ser atribuido a condiciones del mercado (oferta y demanda), procesos de transformación del cacao, procesos y procedimientos agrícolas, entre otros. Este estudio se enfoca en un proceso de transformación industrial que habitualmente es una etapa final de una serie de operaciones para conseguir granos secos de cacao. Determinadas variables como el tiempo, temperatura y humedad establecen la efectividad del secado de cacao. Esta investigación sugiere la posibilidad de disminuir el tiempo de secado industrial sin afectar las propiedades organolépticas, modificando la humedad y la temperatura. Para esta propuesta se realizaron pruebas de secado experimental y análisis computacional utilizando el método de elementos finitos para estudiar el proceso de secado.

PALABRAS CLAVE: *Theobroma cacao*; secado; deshidratación; elementos finitos.

ANALYSIS OF THE COCOA DEHYDRATION PROCESS FOR REDUCING DRYING TIME

ABSTRACT

Cocoa is one of the products demanded by the international agricultural market; some multinational companies have invested from its beginnings in research and development, in order to obtain new products. Some factors increase the costs in cocoa-based products, which can be attributed to market conditions (supply

* Ingeniero Mecánico. MSc. en Ingeniería Mecánica, Universidad Estatal de Campinas. Profesor e integrante del Grupo de Investigación en Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial "Archytas", Departamento de Mecánica y Producción, Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. htinoco@autonoma.edu.co

** Ingeniera de Alimentos, Universidad de Caldas; MSc. en Ingeniería de Producción, Universidad Federal de Pernambuco. Profesora e integrante del Grupo de Investigación en Diseño Mecánico y Desarrollo Industrial "Archytas", Departamento de Mecánica y Producción, Universidad Autónoma de Manizales. Manizales, Colombia. yomali21@gmail.com; dianaospina@autonoma.edu.co

and demand), cocoa transformation process, agricultural processes and procedures, among others. This study focuses on a process of industrial transformation that is usually a final step in a series of operations to get dried cocoa beans. Certain variables such as time, temperature, and humidity establish the effectiveness of drying of cocoa. This research suggests the possibility of reducing industrial drying time without affecting the organoleptic properties, changing humidity and temperature. For this proposal experimental tests of drying and computational analysis, using the finite element method to study the drying process, were carried out.

KEY WORDS: *Theobroma cacao*; drying; dehydration; finite elements.

ANÁLISE DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE CACAU PARA A DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE SECADO

RESUMO

O cacau é um dos produtos que demanda o mercado agrícola internacional; algumas companhias investiram desde seus inícios em pesquisa e desenvolvimento com o fim de obter novos produtos. Alguns fatores aumentam os custos nos produtos derivados do cacau, o qual pode ser atribuído a condições do mercado (oferta e procura), processos de transformação do cacau, processos e procedimentos agrícolas, entre outros. Este estudo enfoca-se em um processo de transformação industrial que habitualmente é uma etapa final de uma série de operações para conseguir grãos secos de cacau. Determinadas variáveis, como o tempo, temperatura e umidade, estabelecem a efetividade do secado de cacau. Esta pesquisa sugere a possibilidade de diminuir o tempo de secado industrial sem afetar as propriedades organolépticas, manipulando a umidade e a temperatura. Para esta proposta se realizaram provas de secado experimental e análise computacional utilizando o método de elementos finitos para estudar o processo de secado.

PALAVRAS-CÓDIGO: *Theobroma cacao*; secado; desidratação; elementos finitos.

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce que las bebidas a base de cacao fueron elaboradas antes del año 1000 a. C. y fueron extraídas de residuos dentro de vasos de alfarería. Posteriormente el uso del cacao se amplió hacia Mesoamérica y llegó a Europa en el siglo XVI. Su nombre científico es *Theobroma cacao* L. y fue Carlos Linneo quien clasificó la planta (Sanvitale, 2005; Dillinger *et al.*, 2000; Henderson *et al.*, 2007). *Theobroma cacao* es un árbol de 4-8 m de alto de la familia *Sterculiaceae*, nativo de las regiones tropicales de América, con semillas que contienen una cantidad significativa de grasas (40-50 %) y polifenoles (alrededor del 10 % del peso del grano seco) (Richelle *et al.*, 1999; Tomás *et al.*, 2007). En el procesamiento del cacao existen dos etapas críticas, que son el secado

y la fermentación, procesos que ocasionan que las paredes celulares se destruyan, permitiendo que los contenidos de la semilla queden expuestos a otros constituyentes químicos que afectan sus propiedades organolépticas (Kim y Keeney, 1984).

En lo que se refiere a la producción del cacao, algunos países se destacan, como es el caso de Indonesia, que se encuentra en la tercera categoría de los mayores productores de cacao (Clough *et al.*, 2009), lo que conlleva inversiones importantes que en algunos casos se han visto parcialmente neutralizadas por las pérdidas que se producen después de la maduración del grano, es decir, en procesos posteriores a la recolección (Córdova *et al.*, 2001). Por ejemplo, las pérdidas anuales de Brasil fueron superiores a mil millones de dólares y se estima que en los demás países de América Latina las pérdidas de



granos posteriores a la cosecha también son elevadas (Chávez *et al.*, 2004). En Colombia, las condiciones agroecológicas que se tienen en términos de clima y humedad han permitido mejorar dichas situaciones, además el cacao cultivado es considerado como un cacao fino y que se hace diferenciador en cuanto a sus características de aroma (Espinal, Martínez y Ortiz, 2005).

De otra parte, el secado artificial produce la principal transformación del grano en la postcosecha y a su vez es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad, ya que de la energía utilizada en el proceso de producción de granos, el secado consume alrededor del 50 %, y tomando en cuenta factores de calidad y consumo energético, se puede apreciar la importancia que adquiere su correcta realización. Los objetivos principales del secado son: reducir la humedad de cosecha de los granos y semillas a niveles seguros para el almacenamiento y óptimos para su comercialización. Secado significa la remoción de cantidades de agua de determinado material, la cual se elimina en una mezcla de aire-vapor de agua. Los métodos de eliminación de humedad varían desde medios mecánicos, utilizando prensas, máquinas centrífugas, hasta el secado por medios térmicos con aire caliente por tiro natural o forzado (Restrepo y Burbano, 2005). El secado se puede realizar con aire natural o con aire caliente y generalmente se refiere a la temperatura del aire de secado, sin embargo, la temperatura que el grano adquiere en los procesos de secado determinará si mantiene la calidad inicial; en los granos es necesario que la humedad óptima no sea un promedio de una gran disimilitud de humedades, sino que exista una homogeneidad en su humedad.

Es importante también destacar las operaciones de deshidratación de los alimentos, algunas de las cuales en años anteriores se desarrollaban por determinaciones de masa del producto durante el tiempo, que más tarde eran utilizadas para realizar las gráficas del proceso de secado, lo que según Fito *et al.* (2007) resultaba tedioso, debido a la extensión que implicaba el registro manual de los datos y el

posible error humano que se podía presentar. Aquí se destaca la importancia del desarrollo de diferentes técnicas para mejorar el proceso, también confirmado en algunos trabajos, entre los que se encuentran los de Ogot, Elliott y Glumac (2003), que presentaron una alternativa a la experimentación con fines docentes, que consistió en la simulación computacional de procesos y se convirtió en una herramienta útil y práctica a la hora de representar la problemática asociada a los fenómenos de transporte para efectos ingenieriles; Saavedra *et al.* (2008) describieron el diseño y montaje de un dispositivo experimental para la automatización de un secador de aire caliente con flujo paralelo en co-corriente; Vega, Andrés y Fito (2005) modelaron la cinética del secado del pimiento (cv Lamuyo) a diferentes temperaturas por medio de aire caliente, allí se compararon los valores de humedad experimentales con los calculados. Borsato *et al.* (2009) determinaron los coeficientes de difusión involucrados en el proceso de deshidratación osmótica de algunos pedazos de piña utilizando la segunda ley de Fick generalizada y el método de elementos finitos, donde se mostraron coherentes y convergentes los datos con los resultados experimentales, además se pudo demostrar una posible mejoría en la productividad y en el control de la calidad del proceso, validando de esta manera la aplicación de dicho método. Esto ratifica que el método de elementos finitos se ha convertido en una de las más importantes herramientas de análisis en la ingeniería, usada en áreas como transferencia de calor, mecánica de fluidos, electromagnetismo, acústica, mecánica de fractura y contacto mecánico. Básicamente, el método de elementos finitos consiste en establecer funciones de aproximación aplicando métodos variacionales clásicos en pequeños subdominios llamados elementos finitos, conectados de forma sistemática por medio de puntos llamados nodos (Zienkiewicz, 1971; Reddy, 1984; Hughes, 1987).

Lo anterior da a conocer la motivación de optimizar el proceso de secado mediante pruebas experimentales y utilizar el método de elementos finitos para evaluar y analizar el secado artificial.

Sin embargo, muchos países consideran de gran importancia desarrollar procesos relacionados con el secado del cacao (Paz, 2000) y empresas como *Natraceutical Group* (Natraceutical, 2008) se interesaron en optimizar este tipo de procesos para disminuir los costos en los subproductos y así ser más competitivas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Prueba 1

Las especificaciones del equipo utilizado para la primera prueba de secado fueron: horno de gas con disposición para siete bandejas perforadas de 40x60 cm ubicadas verticalmente, controlador de temperatura, registrador de temperatura de bulbo seco, registrador de tiempo de secado; la masa de la muestra de cacao utilizada fue de 12,922 kg. En la figura 1 se pueden apreciar los granos de cacao obtenidos en el ensayo experimental.



Figura 1. Granos obtenidos del ensayo 1

2.1.2 Prueba 2

La segunda prueba se realizó en un horno que tenía como características un controlador de temperatura programable, flujo de aire en la entrada y extractor de aire; fue programada con el controlador a una temperatura de 55 °C para 12 horas de funcionamiento, con el siguiente registro de masa de la muestra: $M_1 = 2,970$, $M_2 = 3,330$, la masa total de la muestra fue $M_T = 6,3$, las unidades de la

masa están en kg. La figura 2 muestra los granos de cacao obtenidos después del proceso de secado en el segundo ensayo experimental.



Figura 2. Granos obtenidos del ensayo 2

2.2 Métodos

2.2.1 Velocidad de secado

La humedad es una variable física definida formalmente como la cantidad de agua disuelta en un gas o absorbida en un sólido. El contenido de humedad en un sólido puede expresarse en base húmeda por

$$X_h = \frac{M_a}{M_a + M_s} \quad (1)$$

donde M_a es la masa de agua y M_s la masa del sólido seco.

Luego, es posible obtener la humedad en cada instante con la siguiente relación

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (2)$$

donde W es el peso total de sólido húmedo (sólido seco más humedad) y W_s es el peso total de sólido seco. Después de establecer las condiciones de



secado y establecer la relación de humedad, es posible determinar el contenido de humedad libre X para cada valor de X_i por medio de la expresión

$$X = X_i - X^* \quad (3)$$

donde X^* es la humedad de equilibrio del sólido. Cada grano tiene una velocidad de extracción de agua por hora para no sufrir deterioro, luego no es posible mantener la calidad del grano si se excede ese valor. La velocidad de extracción es llamada velocidad de secado y se define por

$$R = \frac{M_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (4)$$

donde $\frac{dX}{dt}$ es el cambio de humedad con el tiempo y A es el área de contacto del cacao.

La humedad del vapor de agua del aire puede ser establecida de diferentes formas, sin embargo, el análisis más directo es determinando la masa de vapor de agua presente en una masa unitaria de aire seco, la cual se denomina humedad específica y se define como

$$w = \frac{M_v}{M_a} \quad (5)$$

donde M_v es la masa del vapor de agua en el aire y M_a es la masa de aire seco. Luego, la humedad específica en función de la presión se determina por

$$w = 0,622 \frac{P_v}{P_a} \quad (6)$$

$$w = 0,622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (7)$$

donde P_v es la presión del vapor de agua, P es la presión total de la masa de aire y P_a es la presión de aire seco.

2.2.2 Análisis computacional

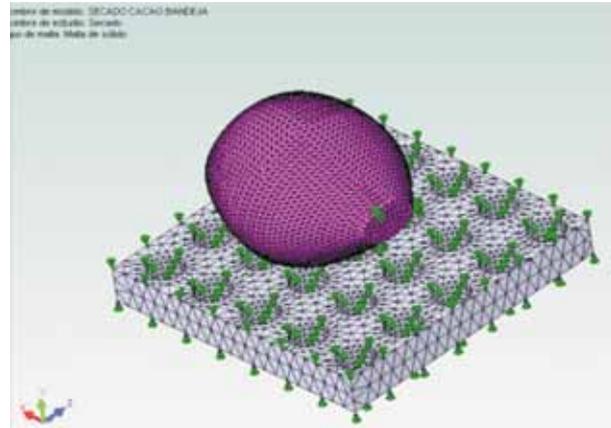


Figura 3. Análisis por elementos finitos para un grano de cacao

El análisis computacional fue realizado mediante COSMOSWorks, en el cual se modeló un grano de cacao para observar el fenómeno de conducción de calor desde la bandeja al grano (ver figura 3). Se simularon las condiciones de secado con temperatura de 55 °C sobre la parte inferior de la bandeja sin flujo de aire caliente, con el objetivo de analizar la conducción de calor entre bandeja y cacao.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultado de prueba 1

La figura 4 muestra la pérdida de agua del producto con respecto al tiempo de secado; la masa final de la prueba fue de 4,986 kg en un tiempo de 900 min, la temperatura de la prueba fue constante con un valor de 60 °C. La masa total de agua retirada de la muestra fue de 8,399 kg, con estos valores se obtiene la humedad en base húmeda de la muestra, tal que $X_h = 0,675$. La humedad inicial en base seca de la muestra fue calculada alrededor del 65 % y se realizó conforme a la humedad en base seca inicial $X_{s1} = 1,875$. La humedad final en base seca al 5 % fue $X_f = 0,0527$. La masa de sólido seco dada es

$M_{ss} = 4,5227 \text{ kg}$, luego la masa final de cacao obtenida de forma experimental es $M_f = 4.986 \text{ kg}$ y el contenido de humedad en base seca final dado fue de $0,1024 \text{ kg de H}_2\text{O/kg de sólido seco}$, es decir, cerca del 10 % de humedad contenida en el sólido.

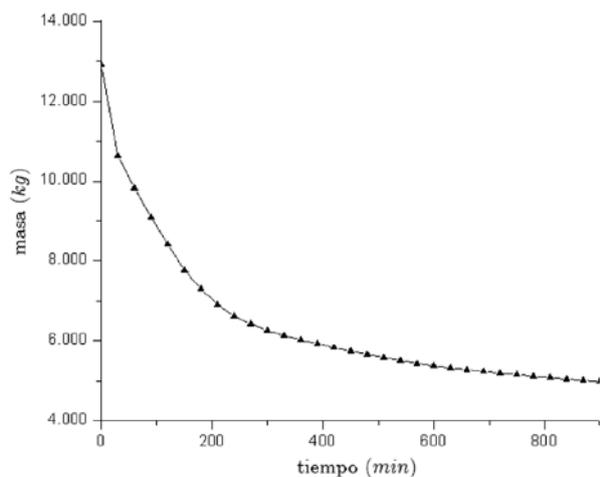


Figura 4. Variación de la masa de los granos con el tiempo

Se puede observar en la figura 4 que las pérdidas de agua a través del tiempo no son constantes ni lineales; esto significa que los sólidos entregan cantidades diferentes de agua en las mismas condiciones de temperatura, pero diferentes condiciones físicas en cada instante (ver figura 5).

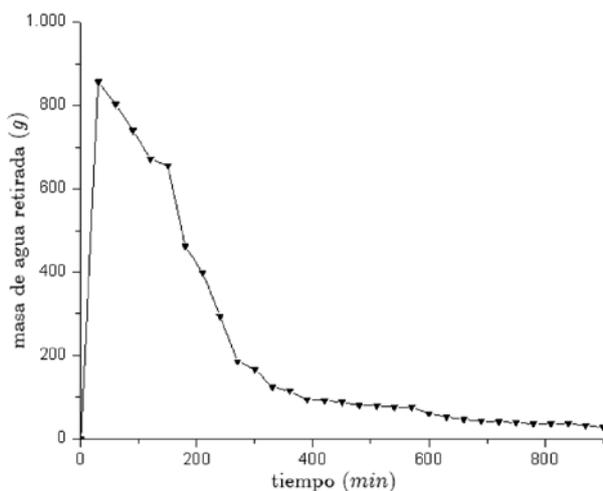


Figura 5. Variación de la masa de agua retirada de los granos con el tiempo

En los primeros 300 minutos las pérdidas de agua de la muestra van decreciendo linealmente, por tanto, existe una relación directa constante para extraer agua del sólido dependiendo del contenido de su humedad, teniendo en cuenta que la temperatura sería un factor que delimite la velocidad de extracción. En la figura 6 se observa el contenido de humedad de la muestra en el ensayo 1, la humedad final de la muestra fue de 0,1024, después de realizado el secado. Es posible observar que el contenido de humedad tiende a estabilizarse en el tiempo, sin embargo, en este ensayo no se llegó a los límites de humedad en los cuales el contenido de humedad permaneciera constante. La humedad se determinó por medio de la ecuación (3).

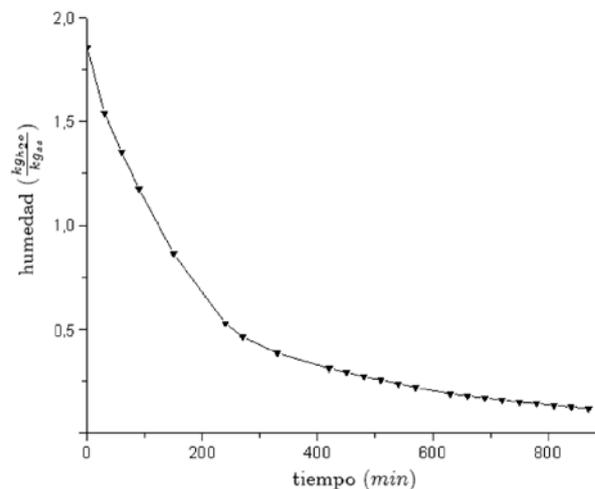


Figura 6. Humedad de la muestra en el ensayo 1

La curva de velocidad de secado experimental se presenta en la figura 7, la velocidad de secado se determina por la ecuación (4); puede observarse en la figura 7 que no permanece constante, por tanto, la deshidratación del sólido se realiza con velocidad decreciente. Esto implica que las pérdidas de humedad van disminuyendo con el tiempo. Para disminuir el tiempo del secado es importante mencionar que, si la curva de velocidad permanece constante en la primera etapa, garantiza una pérdida de humedad constante en un intervalo de tiempo más corto.

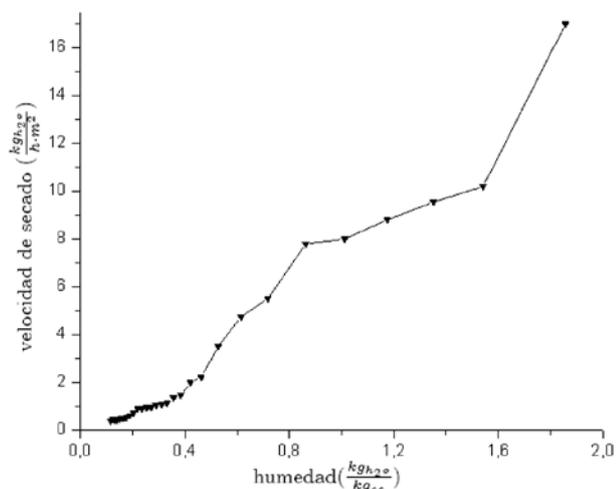


Figura 7. Velocidad de secado

Los valores de velocidad de 17 a 10,2024 aproximadamente muestran que la pérdida de humedad fue del 30 %; si la velocidad de secado en este intervalo permaneciera constante, la muestra de cacao perdería este mismo porcentaje de humedad en menos tiempo.

3.2 Resultado de prueba 2

La masa de cacao obtenida de la muestra después de secado el producto fue de $M_1 = 1,421 \text{ kg}$ y $M_2 = 1,316 \text{ kg}$; por tanto $M_T = 3,037 \text{ kg}$ y el porcentaje de la muestra final fue dado por $X_f = 0,3773 \text{ kg de agua/kg de sólido seco}$. La figura 8 presenta la relación entre la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo contra el tiempo de secado; los valores de temperatura se usan para determinar el contenido de vapor de agua en el aire. La temperatura de bulbo seco corresponde a la temperatura ambiente, y la de bulbo húmedo se obtiene mediante un sensor de temperatura humedecido, de tal forma que el aire circulante en la atmósfera choca con el elemento humedecido y evapora parte del agua en la superficie del sensor. Al evaporarse el agua se absorbe calor latente y se elimina calor del bulbo del sensor.

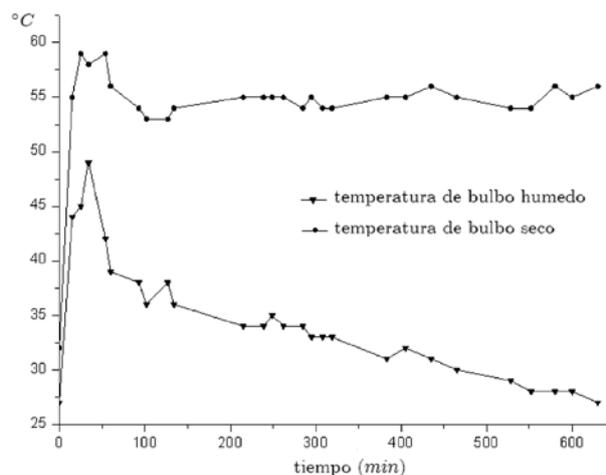


Figura 8. Temperaturas de bulbo seco y húmedo del ensayo 2

La temperatura del sensor desciende de forma continua hasta que el aire de los alrededores se satura, es decir, no admite más agua. Así la temperatura permanece en un valor fijo, que se suele llamar temperatura del bulbo húmedo.

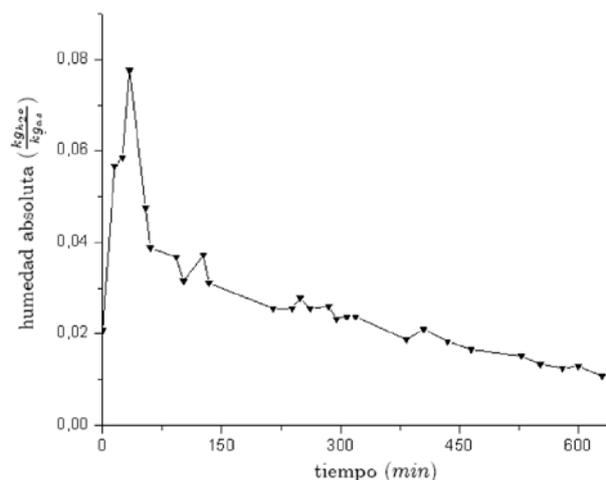


Figura 9. Humedad absoluta del aire en máquina de secado

En la figura 9 se puede observar que el porcentaje de humedad del secador en los primeros 150 min es el más alto de todo el proceso, esto significa que el agua retirada de la muestra aportaba vapor de agua al recinto del secador. Durante este lapso los

granos de cacao preservaban su color, es decir, no mostraban huellas de quemaduras en la superficie. En la figura 2 se pueden apreciar las quemaduras que los granos presentaron cuando los valores de humedad específica comenzaron a bajar a menos de 0,02.

3.3 Resultado de la conducción de calor por elementos finitos

La figura 10 muestra un grano de cacao ubicado sobre una bandeja de aluminio con perforaciones. La bandeja se sometió a una temperatura de 55 °C simulando la prueba número 1. El análisis realizado por el método de elementos finitos se emplea con el fin de estudiar el mecanismo de conducción entre bandeja y cacao. La figura 10a revela como la bandeja hace una huella térmica sobre el soporte de cacao, luego para el proceso de deshidratación del sólido no sería un buen indicador, ya que no hay homogeneidad en la distribución de temperatura dentro del sólido. Para evitar el contacto directo permanente durante la prueba se implementó un elemento de agitación, que permitió la reubicación de granos en la bandeja, evitando las quemaduras súbitas. Los granos obtenidos pueden verse en la figura 1.

En la figura 10b se puede ver como el gradiente de temperatura actúa sobre el grano, el anillo observado resalta el calor transmitido por la bandeja

cuando se acumula, este fenómeno es atribuido a las propiedades térmicas del grano. No obstante, si el grano mantiene contacto durante todo el proceso, la concentración de calor se convertiría en quemadura por deshidratación, como se puede observar en la figura 2.

3.4 Diseño de secador

Los requisitos para el diseño del secador, según las necesidades del proyecto, fueron: producción total de 2.200 toneladas métricas al año; días laborales, 203; 10 meses de trabajo de 20 días cada uno. Con base en los anteriores ítems se necesita producir 11 t secas por día y para ello se construirán 4 líneas de producción de 2,75 t secas día; lo cual por certidumbre se dimensionó en 3 t secas por día. Se seleccionó para este proyecto un secador de bandejas o de anaqueles. Según la normalización, las bandejas deben tener un espesor de carga de producto entre 2 y 6 cm, para este proyecto fue seleccionado un espesor de 6 cm. El producto húmedo debe ser 65 % más del producto seco. Por tanto, el producto de entrada debe ser de 32 t/día. Barbosa y Vega (2000) muestran que la densidad del cacao es de 480 kg/m³. Luego, la carga de sólido por área es determinada por

$$\frac{M_s}{A_c} = \rho_c Z_c \quad (8)$$

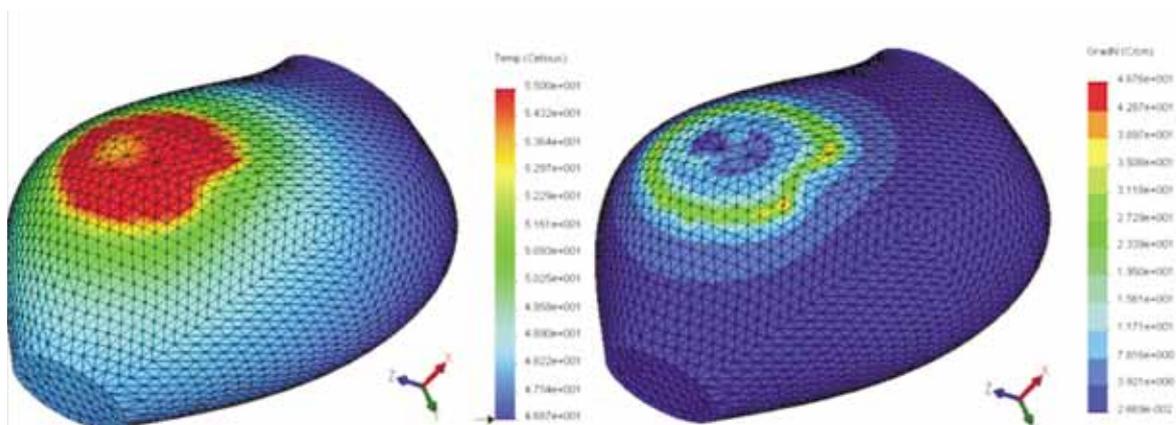


Figura 10 a) Temperatura en un grano de cacao, b) Gradiente de temperatura



donde Z_c es la altura de cama de cada bandeja, ρ_c es la densidad del cacao, M_s masa de carga de cacao y A_c es el área de carga. La carga de sólido es de $28,8 \text{ kg/m}^2$. Considerando las 4 líneas se establece la siguiente relación

$$A_L = \frac{A_c}{N^\circ \text{ líneas}} \quad (9)$$

El área total de carga es de 1.112 m^2 y cada línea tendría un área total para bandejas de 278 m^2 . El horno de bandejas que se diseña es de 2 columnas de disposición vertical, luego cada columna debe tener un área de 139 m^2 con bandejas de $2 \times 3 \text{ m}$, siendo el área de cada bandeja de 6 m^2 . De este modo se determina el número de bandejas por columna en cada horno por medio de la expresión

$$N_B = A_{co} - A_B \quad (10)$$

donde, A_{co} es el área por columna y A_B es el área de las bandejas. Hallando la transferencia de calor por convección se tiene que

$$q = h(T - T_w) A_{tr} \quad (11)$$

donde, q es dado en $W \cdot J/s$, h es el coeficiente de convección, A_{tr} es el área de transferencia, T es la temperatura local y T_w es la temperatura del medio. Luego se determina la ecuación del flujo específico del vapor de agua desde la superficie, que es dada por

$$N_A = K_c \gamma (T_w - T) \quad (12)$$

donde K_c es el coeficiente de conductividad térmica del cacao y γ coeficiente específico de carga. Acerca de la cantidad de calor necesario para vaporizar el agua en la carga y despreciando los pequeños cambios de calor sensible se establece que

$$q = M_s N_A \lambda_w A_{tr} \quad (13)$$

donde λ_w es el calor latente a T_w . En consecuencia, es posible calcular la velocidad de secado por medio de

$$R_c = q/A_{tr} \lambda_w \quad (14)$$

Teniendo la velocidad de flujo de aire de secado de 2 m/s y las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo determinadas en la prueba experimental de 55°C y 30°C , se pueden obtener, desde el diagrama psicrométrico mostrado en Çengel y Boles (2003), los valores de humedad específica y volumen específico dados a estas condiciones como $0,0168$ y $0,095$. De este modo, la densidad del aire húmedo es de $1,070$ con un valor de convección de $32 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{k}$. Por consiguiente, la velocidad de secado aproximada para mantener constante la deshidratación y disminuir el tiempo de secado se calcula mediante la ecuación (14), y se obtiene para este diseño específico. Es importante mencionar aquí que a velocidad de secado constante no se lleva a cabo la difusión del vapor de agua a través de la interfase aire/humedad. Hacia el final del periodo constante, la humedad tiene que ser transportada del interior del sólido hacia la superficie por las fuerzas capilares. En el caso de la velocidad decreciente, la velocidad a la cual la humedad puede pasar a través del sólido es debida a los gradientes de temperatura que se influyen por la conducción (ver figura 10b).

4. CONCLUSIONES

Dentro del proceso realizado, se detectó que el producto debía ser agitado dentro del horno para facilitar el proceso de secado y evitar quemaduras por contacto entre bandeja y producto, como se analizó en las simulaciones realizadas por elementos finitos.

Un factor crítico en el proceso de secado es la humedad de aire, ya que a medida que se elimina agua de los sólidos, el aire va aumentando el contenido de humedad, sin embargo, no es recomendable remover grandes cantidades de vapor de agua del aire, ya que el aire seco deshidrata la superficie de los granos de tal forma que expone la superficie a quemaduras. Comparando los ensayos, el producto final de la prueba 1 presentó un buen aspecto y leves quemaduras, considerando que la prueba se realizó sin flujo de aire. Aquí se

puede concluir que la velocidad del aire acelera la deshidratación del grano, como se observó en la prueba experimental 2, donde los granos fueron quemados por los soportes metálicos en la superficie. De este modo si no hay un control de humedad adecuado, no es posible mantener la velocidad de secado constante, con el objetivo de disminuir el tiempo de secado en la primera etapa del proceso. Esto afecta la conducción de calor entre el soporte metálico y la muestra, ya que se pudo observar que a bajos contenidos de humedad en el aire las muestras presentaron quemaduras en la superficie.

REFERENCIAS

- Barbosa, G. y Vega, H. *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza: Acibia, 2000. 325 p.
- Borsato, Dionísio; Moreira, Ivanira; Nóbrega, Marcelo Medre; Moreira, Mariete Barbosa; Silva, Rui Sérgio dos Santos Ferreira da; Bona, Evandro (2009). "Modelagem e simulação da desidratação osmótica em pedaços de abacaxi utilizando o método de elementos finitos". *Química Nova*, vol. 32, No. 8, pp. 2109-2113.
- Çengel, Y. A. y Boles, M. A. *Termodinámica*. México: McGraw-Hill, 2003. 829 p.
- Chávez, A. y Mansilla, Jaime. Manual del cultivo de cacao. Programa para el Desarrollo de la Amazonia. Ministerio de Agricultura del Perú [en línea] 2004: [consultado el 15 de agosto de 2008] Disponible en: <<http://www.devida.gob.pe/Documentacion/documentosdisponibles/Manual%20Cacao.pdf>>.
- Clough, Yann; Putra, Dadang Dwi; Pitopang, Ramadhanil and Tscharntke, Teja. (2009) "Local and landscape factors determine functional bird diversity in Indonesian cacao agroforestry". *Biological Conservation*, vol. 142, No. 5, pp. 1032-1041.
- Córdova V.; Sánchez, M.; Estrella, N. G.; Sandoval, E. y Ortiz, C. F. (2001) "Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México". *Universidad y Ciencia*, vol. 17, No. 34 (diciembre). pp. 93-100.
- Dillinger, Teresa L.; Barriga, Patricia; Escárcega, Sylvia; Jimenez, Martha; Salazar, Diana and Grivetti, Louis E. (2000). "Food of the gods: cure for humanity? A cultural history of the medicinal and ritual use of chocolate". *JN The Journal of Nutrition*, vol. 130, pp. 2057S-2072S.
- Espinal, Carlos; Martínez, Héctor y Ortiz, Lila. *La cadena del cacao en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica. 1991-2005*. Observatorio Agrocadenas Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. [en línea] 2005: [consultada el 25 agosto de 2008] Disponible en <http://www.agrocadenas.gov.co/cacao/documentos/caracterizacion_cacao.pdf>.
- Fito, P.; LeMaguer, M.; Betoret, N. and Fito, P. J. (2007). "Advanced food process engineering to model real food and processes: The 'SAFES' methodology". *Journal of Food Engineering*, vol. 83, No. 2 (November), pp 173-185.
- Henderson, John S.; Joyce, Rosemary A.; Hall, Gretchen R.; Hurst, W. Jeffrey and McGovern, Patrick E. (2007). "Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages". *PNAS Proceedings of the National Academy of Sciences*", vol. 104, No. 48 (November), pp. 18937-18940.
- Hughes, T. J. R. *The finite element method*. Prentice-Hall International, 1987.
- Kim H. and Keeney P. G. (1984). "Epicatechin content in fermented and unfermented cocoa beans". *Journal of Food Science*, vol. 49, No. 4, pp. 1090-1092.
- Natraceutical Group. [consultada el 25 de agosto de 2008]. Disponible en: <<http://www.natraceuticals.com/natra21.asp>>.
- Ogot, Madara; Elliott, Gregory and Glumac, Nick (2003). "An assessment of in-person and remotely operated laboratories". *Journal of Engineering Education*, vol. 92, No. 1, pp. 57-62.
- Paz, Raúl (2000). "Importancia del diseño de deshidratadores en el Ecuador". *Investigación y Desarrollo*, No. 6. (mar.), pp. 6-7.
- Reddy, J. N. *Energy and variational methods in applied mechanics*. John Wiley & Sons, 1984.
- Restrepo, Álvaro Hernán y Burbano, Juan Carlos. (2005) "Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos". *Revista Scientia et Technica*, vol. 12, No. 27 (abril), pp. 127-132.
- Richelle M.; Tavazzi I.; Enslin M. and Offord E.A. (1999). "Plasma kinetics in man of epicatechin from black chocolate". *European Journal of Clinical Nutrition*, vol. 53, No. 1 (January), pp. 22-26.
- Saavedra, Jorge A.; Puente, Luis A.; González, Guillermo A. y Camousseigt, Iván B. (2008). "Automatización de un secador convectivo de aire caliente para fines de docencia en Ingeniería de Alimentos". *Información Tecnológica*, vol. 9, No. 4, pp. 3-10.



Sanvitale, Patricia. *Il cioccolataio: mestiere d'arte*. Milano: Il Saggiatore, 2005. 224 p.

Tomás, F. A.; Cienfuegos, E.; Marín A.; Muguera B.; Gil, A.; Cerdá, B.; Zafilla, P.; Morillas, J.; Mulero, J.; Ibarra, A.; Pasamar, M. A.; Ramón, D. and Espín, J. C. (2007). "A new process to develop a cocoa powder with higher flavonoid monomer content and enhanced bioavailability in healthy humans". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55, pp. 3926-3935.

Vega, A; Andrés, A. y Fito, P. (2005). "Modelado de la cinética de secado del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L. cv Lamuyo)". *Información Tecnológica*, vol. 16, No. 6, pp. 3-11.

Zienkiewicz, O. *The finite element method in engineering science*. Maidenhead: McGraw-Hill, 1971.