

Determinación de parámetros y simulación matemática del proceso de secado del cacao (*Theobroma cacao*)

El Departamento de Ingeniería Agrícola, dentro de la línea de investigación, que sobre secado de productos agrícolas ha venido desarrollando con la finalidad de disminuir los riesgos de deterioración de los granos después de la cosecha, realizó una investigación sobre la determinación de los parámetros de secado de cacao (*Theobroma Cacao*), para la simulación matemática de este proceso.

La finalidad primordial del trabajo fue la determinación para el cacao, de los parámetros de: calor específico, calor latente de vaporización, isoterma de humedad de equilibrio y curvas de secado en capa delgada, que intervienen en el modelo matemático de secado de cacao, que simula el proceso real con ahorro de tiempo y dinero. Por otra parte, se caracterizó el producto determinando los parámetros de: forma, tamaño, peso y peso específico.

La determinación del calor específico se realizó por el método de las mezclas en calorímetros de comparación, para cacao, con contenidos de humedad entre 4% y 56%; las isotermas de humedad de equilibrio se obtuvieron experimentalmente por el método estático, para temperaturas de 20, 30, 38 y 50°C y la ecuación que las representa, por regresión no lineal de parámetros; el calor latente de vaporización se obtuvo por el método gráfico, a partir de las curvas isotermas de humedad de equilibrio y las curvas de secado en capa delgada se obtuvieron mediante la realización de tres experiencias, en túnel secador, con condiciones de secado de 25°C y HR - 25%, 33°C y HR - 37% y 55°C y HR - 10%. Se efectuó un secado en capa espesa en una cámara de secado acoplada a una unidad Aminco-AIRE que se operó con un caudal de 3.25 m³/min, 55°C y HR - 12,5%, condiciones semejantes a las de secado industrial.

FANNY VILLAMIZAR DE BORRERO
Ingeniera agrícola M.Sc.
Profesora asociada
Departamento de Ingeniería Agrícola

JOSE EUGENIO HERNANDEZ H.
Ingeniero agrícola
Profesor asistente
Departamento de Ingeniería Agrícola

INTRODUCCION

En los últimos años la producción de cacao en Colombia ha tenido un incremento notable, debido principalmente al aumento en el área cultivada (108%) y a los mayores rendimientos por hectárea obtenidos (105%). Este incremento en la producción ha permitido abastecer completamente el mercado nacional, supliendo las importaciones además de generar excedentes.

Actualmente se cultiva cacao en 23 departamentos del país, siendo Santander y Huila los que ocupan los primeros lugares con un promedio de producción del 35% del total nacional. Le siguen Nariño y Antioquia cuya producción alcanza casi el 20%. El resto está disperso entre los otros departamentos. (15).

El alza en el precio interno y la coyuntura favorable del mercado externo, acentuada por la vertiginosa baja en la producción de los principales países productores a nivel mundial como es el caso de Costa de Marfil, Ghana y Nigeria favorecen a Colombia en el sentido de que puede tener una mayor cobertura del mercado mundial y subir del octavo lugar como productor de cacao en el mundo. (6)

Para poder responder a las expectativas del mercado mundial se requiere que el producto ofrecido presente características de óptima calidad, competitiva internacionalmente, lo cual se consigue con la incorporación de tecnologías adecuadas haciendo énfasis en los procesos de fermentación, secado y almacenamiento, que son en última instancia los que ameritan o demeritan la calidad del grano. Dentro de la línea de investigación que sobre secado de productos agrícolas adelanta el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Ingeniería, se ha incluido el cacao por las razones anteriormente expuestas, además de considerar que tecnificando el proceso de secado se le permite al agricultor disminuir los riesgos de deterioración del producto después de la cosecha, adecuándolo para su posterior almacenamiento y comercialización.

OBJETIVOS

Como objetivo general se tiene el uso de la simulación matemática para reproducir, de la manera más exacta posible, el proceso de secado del cacao para cualquier combinación de variables independientes, como la temperatura y humedad relativa del aire o la temperatura y el contenido de humedad del grano.

Los objetivos específicos son:

- Determinación experimental de las principales propiedades físicas del cacao y su relación matemática con la variación del contenido de humedad del producto.
- Determinación experimental de las principales propiedades térmicas del cacao y su relación matemática con la variación del contenido de humedad del producto.
- Determinación experimental de las isotermas de humedad de equilibrio y obtención de la ecuación matemática que rige su comportamiento.
- Determinación experimental de las curvas de secado en capa delgada y obtención de la ecuación que las caracteriza.
- Secado experimental del cacao y comparación de los resultados con los obtenidos con la simulación matemática del proceso.

REVISION DE LITERATURA

El beneficio del cacao comprende las siguientes operaciones sucesivas: recolección, apertura de la mazorca, fermentación, lavado, secado, selección y clasificación. Con estas operaciones se busca mantener o mejorar la calidad del grano para su posterior comercialización o almacenamiento, además de convertirlo en un producto fácilmente transportable y de excelentes cualidades de aroma y sabor, cualidades estas que, al final, son las que le dan el sabor comercial para su uso industrial. (3)

Secado

El objetivo del secado es reducir el contenido de humedad del grano de rangos entre el 50% y el 70% hasta un 7% u 8% (bh). Esta reducción en el contenido de humedad permite la conservación y el almacenamiento del cacao en condiciones de seguridad en cuanto a su integridad y calidad. Durante el secado la temperatura debe subir lentamente y no exceder los 75°C.

El secado consiste en la aplicación de calor a una capa de grano de poco espesor, la cual debe ser removida constantemente para obtener una superficie grande de evaporación y un secado homogéneo, permitiendo al mismo tiempo la eliminación de la pulpa restante, el pulimiento del grano y la exposición de toda la superficie de éste a la superficie calefactora o al aire libre. Cuando no se hace la remoción del grano se obtiene una

almendra con residuos de pulpa seca adheridos y con manchas oscuras en los puntos de contacto de dos granos, o el grano y el material de la superficie en la cual descansa éste, si el contacto se mantiene largo tiempo. (3)

Simulación matemática del proceso de secado

El secado es un proceso simultáneo de transferencia de calor y de masa. El calor es necesario para evaporar la humedad, la cual es removida de la superficie del producto por medio de un agente secador externo, generalmente aire.

Los modelos de simulación matemática datan de 1967 y los primeros trabajos fueron hechos en Estados Unidos e Inglaterra, teniendo en cuenta las ecuaciones básicas de transferencia de masa.

Para definir matemáticamente el comportamiento del secado de una capa de granos, diferentes investigadores han desarrollado ecuaciones con fundamentaciones teóricas basadas en los mecanismos de difusión de masa, difusión térmica, flujos capilares y flujos hidrodinámicos.

Por lo general la formulación matemática de los modelos conduce a dificultades que no pueden ser resueltas por procedimientos puramente matemáticos y las soluciones, por tanto, son obtenidas de manera aproximada simulando el proceso físico, haciendo uso de los métodos numéricos y del computador. (14)

Modelo de Thompson

Thompson y Co. (1968), desarrollaron un modelo matemático semiempírico que puede ser utilizado para simular el secado de cualquier grano. El modelo considera la capa espesa de grano como constituida por varias capas delgadas del grano, de poco espesor y colocadas unas sobre otras.

El proceso total de secado es dividido en varios procesos pequeños los cuales son simulados mediante cálculos consecutivos de las variaciones que ocurren en cada una de las capas, en pequeños incrementos de tiempo. (14)

La figura No. 1 muestra el paso del aire de secado a una temperatura T , y contenido de humedad H , por una capa delgada de grano con contenido de humedad M , y temperatura T_g , durante un intervalo de tiempo, ΔT . Durante este intervalo de tiempo, una cierta cantidad ΔM es evaporada y transportada por el aire el cual aumenta su contenido de humedad en $H + \Delta H$. Al mismo tiempo el aire disminuye su temperatura en un valor ΔT proporcional al aumento de temperatura del grano $T_g + \Delta T_g$; conociéndose:

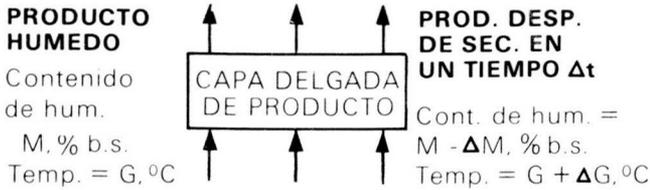
- a) Las condiciones de entrada del aire de secado a la primera capa de grano en el silo.
- b) Las condiciones iniciales de temperatura y humedad del producto por secar.
- c) Las propiedades físicas e higroscópicas del producto y del aire como fundamento de las condiciones de operación.

Se puede preveer matematicamente, el secado del producto en cualquier posición, x ; y cualquier tiempo t.

AIRE DE SALIDA

Temperatura = T - ΔT, °C

Humedad absoluta = H + ΔH, Kg de agua/Kg de aire seco



AIRE DE SECADO

Temperatura = T, °C

Humedad absoluta = H, Kg de agua/Kg de aire seco

FIGURA 1. Representación esquemática de secado de una capa delgada.

Secado en capa delgada

Roa y Macedo (1976 a) citados en (14) propusieron la siguiente ecuación empírica de secado en capa delgada:

$$\frac{\delta M}{\delta t} = -mq (M - M_{eq}) (P_{vs} - P_v)^n t^{q-1}$$

con la condición inicial de $M_{(t=0)} = M_o$.

Integrando la ecuación anterior, para condiciones constantes de temperatura y humedad del aire, obtuvieron:

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} = \exp [-m (P_{vs} - P_v)^n t^q]$$

donde.

MR = relacion de humedad

M = contenido de humedad del producto (bs), decimal

M_{eq} = contenido de humedad de equilibrio, (bs) decimal

t = tiempo, h

$P_{vs} - P_v$ = déficit de presión de vapor de agua (Kg/m²).

Los parámetros m, n, y q son obtenidos por regresión lineal a partir de los datos experimentales del secado en capas delgadas de los productos.

METODOLOGIA

Propiedades físicas

La forma y el tamaño de los granos de cacao se asumieron teóricamente como la de un cuerpo prismátoide formado por dos bases paralelas G_1 y G_2 en forma de elipse a una distancia C, y aristas curvilíneas o rectilíneas de curvatura constante;

la determinación experimental se realizó seleccionando una muestra representativa de granos con cuatro diferentes contenidos de humedad y midiendo sus dimensiones a, b, c sobre tres ejes perpendiculares entre sí.

La determinación del volumen real se hizo por el desplazamiento de un volumen equivalente de agua destilada en una probeta graduada, para muestras de 100 g de cacao; el volumen teórico se obtuvo del promedio aritmético de los volúmenes calculados a cada grano con la fórmula:

$$V = C/6 (G_1 + G_2 + 4M) = CG$$

donde:

G_1 y G_2 = bases paralelas e iguales (área de la elipse, cm²)

M = área de la sección, a la altura C/2, cm²

C = distancia que separa G_1 y G_2 , cm.

El volumen aparente se obtuvo midiendo el volumen ocupado por 100 g de cacao en una probeta graduada.

Todas las determinaciones anteriores se hicieron cada una con muestras con contenidos de humedad (bh), $M_1 = 4\%$, $M_2 = 17\%$, $M_3 = 22\%$ y $M_4 = 36\%$.

El peso individual se tomó a cada grano en balanza de precisión (aprox. 0.01 g) y el peso específico aparente y real se calcularon para las muestras de 100 g de cacao, mediante la fórmula:

$$\gamma_{ap}, \gamma_r = \frac{P}{V}$$

donde:

γ_{ap}, γ_r = peso específico aparente o real, g/cm³

P = peso de la muestra de granos, g

V_{ap}, V_r = Volumen aparente o real de la muestra, cm³

Propiedades térmicas

Se determinaron el calor específico, Cp, y la conductividad térmica, k, en forma volumétrica, ya que éstas son las usadas en situaciones reales de empaque, secado, almacenamiento, etc. y no la de granos individuales.

Para la conductividad térmica se utilizó el método descrito por Rossi y Roa (1976) (14) para granos con los cuatro contenidos de humedad y se calculó, a partir de los datos experimentales, con la ecuación de flujo de calor de Morita y Singh (1979)(10a).

$$k = \frac{Q \ln (\theta_1 - \theta_2)}{4\pi (T_2 - T_1)}$$

donde:

k = Conductividad térmica volumétrica del grano,

$$\frac{K_{cal}}{m.h.^{\circ}C}$$

$\theta_1 \theta_2$ = tiempos correspondientes a la porción de la línea recta, en las gráficas experimentales, min.

T_1, T_2 = temperaturas correspondientes a los tiempos θ_1 y θ_2 respectivamente, °C

El calor específico del cacao, para diferentes contenidos de humedad, se determinó mediante el método del calorímetro de comparación, descrito por Moshenin (11) y cuyo cálculo se efectuó mediante la ecuación:

$$C_g = \frac{C_w W_w (T_{iw} - T_{em}) - C_c W_c (T_{ewc} - T_{ic})}{W_g (T_{em} - T_{ig})}$$

donde:

C_w, C_c, C_g = Calor específico del agua, calorímetro y, muestra de grano, respectivamente, Kcal/Kg °C

W_w, W_c, W_g = peso de la masa de agua, calorímetro y muestra de granos, respectivamente, g.

T_{iw}, T_{ic}, T_{ig} = temperatura inicial del agua, calorímetro y grano, respectivamente, °C

T_{ewc} = temperatura de equilibrio, agua - calorímetro, °C

T_{em} = temperatura de equilibrio de la mezcla, °C

Para el cálculo del calor latente de vaporización se siguió el método gráfico citado por Hall (8) en el cual, a partir de curvas isotermas de humedad de equilibrio, se obtienen los valores de humedad relativa correspondientes a un determinado contenido de humedad de equilibrio y temperatura.

De estos datos se obtienen los valores de presión de vapor del producto, P_v , que graficado en papel log-log para cada temperatura, versus presión de vapor de saturación P_{vs} , dan rectas que cumplen con la ecuación de Othmer:

$$\ln P_v = \frac{L}{L_1} \ln P_{vs}$$

Donde L y P_v representan el calor latente y la presión de vapor del producto y L_1 y P_{vs} , el calor latente y presión de vapor del agua libre.

Humedad de equilibrio

Se utilizó el método estático, colocando muestras de grano en recipientes herméticos con humedades relativas controladas entre 10% y el 95%, conseguidas empleando soluciones saturadas de sales. Para la obtención de las isotermas se trabajaron cuatro temperaturas 20, 30, 38 y 50°C, obtenidas mediante el uso de estufas con control termostático, determinando las humedades

de equilibrio, cuando no se presentaba variación en el peso de los granos. La ecuación que representa la variación de la humedad de equilibrio se obtuvo a partir de los datos experimentales por regresión no lineal, mediante el uso del método N LIN, del paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

Curvas de secado: Capa delgada y espesa

Se realizaron tres experiencias de secado del cacao en capas delgadas, en un túnel secador, con las siguientes condiciones: 25°C y HR=52%, 33°C y HR=37% y 55°C y HR=10% de las cuales se obtuvieron los parámetros de: razón de humedad (MR), tiempo (t), presión de vapor (P_v), presión de vapor de saturación (P_{vs}), que fueron empleados en la ecuación de Roa y Macedo, descrita anteriormente para la obtención de los parámetros m, n, q.

El proceso de secado en capa espesa se realizó experimentalmente en una cámara de secado acoplada a una unidad AMINCO-AIRE la cual operó con un caudal de 3.25 m³/min de aire con una temperatura de 55°C y HR=12.5%, condiciones semejantes a las de secado industrial. Para la simulación matemática del proceso de secado se utilizó el modelo de Thompson (14) procesado en un microcomputador APPLE II (modelo A3 M0039), el cual empleó para su ejecución las ecuaciones de calor específico, calor latente de vaporización, contenido de humedad de equilibrio y la de secado en capa delgada, halladas previamente en este estudio, para el cacao.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las propiedades físicas estudiadas se muestran en la Tabla No. 1.

A partir de estos resultados se calcularon, por el método de regresión lineal, las ecuaciones que representan la variación de cada una de ellas en función del contenido de humedad, M , estudiados, como sigue:

FORMA

$$\begin{aligned} a &= 21.28 + 0.094 M & r &= 0.98 \\ b &= 13.044 + 0.054 M & r &= 0.87 \\ c &= 8.264 + 0.059 M & r &= 0.91 \end{aligned}$$

TAMAÑO

$$\begin{aligned} V_r &= 1.334 + 0.012 M & r &= 0.94 \\ V_t &= 1.5737 + 0.049 M & r &= 0.96 \\ V_a &= 1.9725 + 0.0595 M & r &= 0.99 \end{aligned}$$

TABLA 1
Variación de las propiedades físicas del cacao en función del contenido de humedad

Cont. H. bh %	Dimensiones (mm)			Peso (g)	Volumen (cm ³)			Peso específico g/cm ³	
	a	b	c		Real Vr	Teórico Vt	Aparente Va	Real Vr	Aparente Va
4.3	21.77	13.35	8.38	1.28	1.44	1.88	2.60	0.895	0.4958
17.55	22.75	13.48	9.16	1.49	1.50	2.17	3.10	0.997	0.482
22.35	23.64	14.80	10.10	1.63	1.70	2.77	3.26	0.9632	0.502
35.9	24.53	14.91	11.15	1.94	1.89	3.40	3.70	1.031	0.527

PESO

$$P = 117,23 + 2\ 1064 M \quad r = 0,99$$

PESO ESPECIFICO REAL Y APARENTE

$$y_r = 0,882 + 0,0044 M \quad r = 0,9260$$

$$y_a = 0,4807 + 0,0013 M \quad r = 0,7385$$

Las propiedades térmicas estudiadas dieron los resultados mostrados en la Tabla No. 2 para los parámetros de conductividad térmica volumétrica y calor específico en función de los diferentes contenidos de humedad estudiados.

Las ecuaciones encontradas para la representación de la conductividad térmica y el calor

específico del cacao, en función de su contenido de humedad, M, a partir de los datos experimentales fueron las siguientes:

$$k = 0,247 + 0,002962 M \quad r = 0,896$$

$$C_p = 0,4156 + 0,4340 M \quad r = 0,9126$$

Se observa que los parámetros físicos estudiados presentan un comportamiento lineal y una proporcionalidad con el aumento del contenido de humedad, pero el peso específico aparente presenta una dispersión mayor con respecto a la media (r = 0.73), lo mismo que la conductividad térmica (r = 0.89) donde interviene el parámetro anterior.

La ecuación del calor latente de vaporización, hallada por el método descrito anteriormente, a partir de los datos experimentales fue la siguiente:

$$L_{cacao} = \frac{(597,6 - 0,57T)}{[1 + 0,4062 \text{Exp}(-0,2365 M)]}$$

válida para: 6% < M < 20%

Los resultados de humedad de equilibrio, encontrados experimentalmente, permitieron hallar mediante cálculo con el método de regresión no lineal de parámetros la ecuación que la representa, en función de la temperatura y humedad relativa, como sigue:

$$M_{eq} = (0,01087324 + 0,23758842HR - 0,63848052 HR^2 + 0,56197989 HR^3)$$

$$\text{Exp} [(0,02965424 - 0,33506858 HR + 0,95779665 HR^2 - 1,27182954 HR^3 + 0,573953345 HR^4) (T - 57,2913401)]$$

En la Figura No. 2, se muestran las curvas comparativas experimentales y calculadas mediante la ecuación hallada, pudiéndose observar un buen ajuste entre ellas, particularmente en niveles de baja humedad relativa, (menores a 50%); los valores hallados de Meq, se ubicaron dentro de los rangos reportados por otros investigadores.

A partir de los datos experimentales del secado del cacao en capa delgada, en las condiciones descritas anteriormente, se obtuvieron utilizando el método de regresión lineal múltiple las constantes de la ecuación, que la representa, así:

$$MR = \exp(-0,038637 (P_{vs} - P_v)^{0,34864} t^{0,60719})$$

La Figura No. 3 muestra las curvas comparativas experimentales y teóricas, calculadas con la ecuación anterior, para las diferentes condiciones ambientales para secado en capa delgada, pudiéndose observar un buen ajuste en las experiencias de mayor temperatura, particularmente durante las primeras 30 horas, lo cual no sucedió con la de menor temperatura.

El proceso experimental de secado en capa espesa y el simulado matemáticamente con el modelo de Thompson, utilizando los parámetros de calor específico, calor latente de vaporización,

TABLA 2.
Variación de las propiedades térmicas del cacao en función del contenido de humedad

Contenido de humedad		Conductividad térmica volumétrica (Kcal/hr m ² C)	Calor específico (Kcal/kg °C)
% bh	% bs		
4,3	4,5	0,2453	0,3952
8,3	9,1	0,2716	
11,9	13,5	0,2817	
13,0	14,9		0,4189
16,3	19,5		0,4326
17,7	21,5	0,3283	0,5305
20,5	25,8		0,5789
26,8	36,5	0,3643	
31,4	45,9		0,6068
36,4	57,3		0,7177
38,8	63,6		0,7812
45,9	84,8		0,8440
56,8	131,4		0,8880

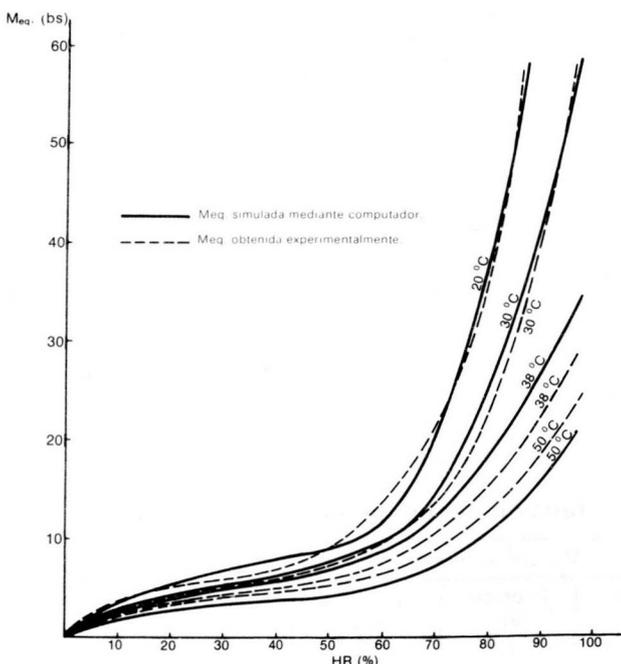


FIGURA 2. Comparación con las isotermas experimentales de humedad de equilibrio con las teóricas calculadas mediante la ecuación encontrada.

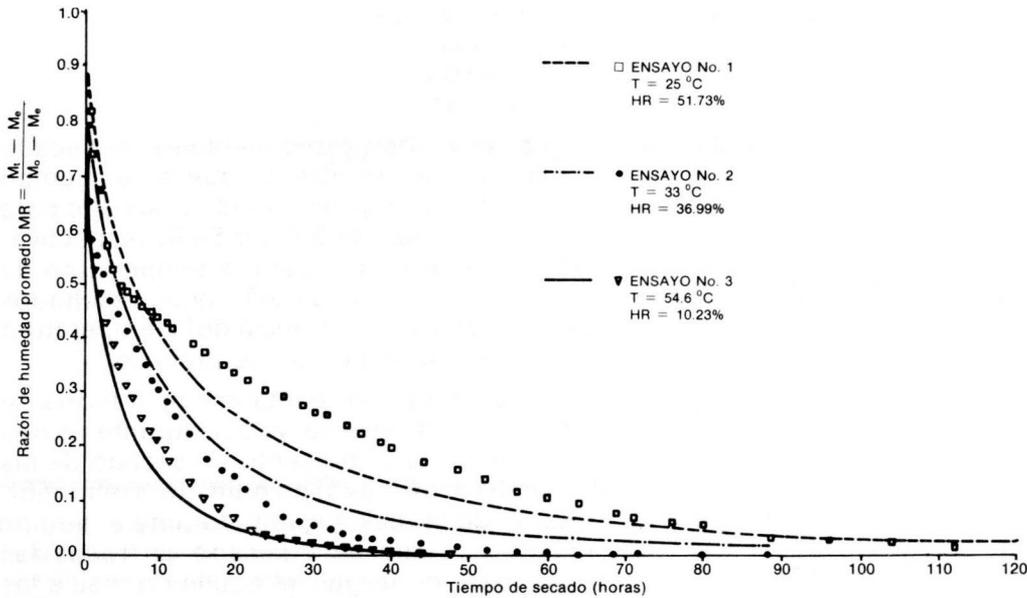


FIGURA 3. Comparación entre los datos experimentales y las curvas teóricas obtenidas a diferentes condiciones ambientales para secado de cacao en capa delgada.

ecuación de humedad de equilibrio y ecuación de secado en capa delgada encontradas en la presente investigación, se aprecia en la Figura No. 4.

Se observa que la simulación matemática presenta un buen ajuste en la primera capa (más cercana al plenum), disminuyendo éste, en las otras dos, donde la variación de la humedad del producto va siendo cada vez mayor.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones de la presente investigación se pueden anotar las siguientes conclusiones:

1. Se comprobó que el contenido de humedad, dentro de los rangos estudiados, incrementó en forma lineal las propiedades físicas. Por

cada 1% de incremento de M (bh) se presentó como sigue:

dimensiones (mm): a = 0.39%,
b = 0.19%,
c = 1.04%

Volumen (cm³): real = 0.99%
Teórico = 2.55% Aparente = 1.33%

Peso (gr): 1.63%
Peso específico (gr/cm³): real = 0.48%,
aparente = 0.2%

2. La conductividad térmica presentó un incremento sobre su valor más bajo, de 2,15% para cada 1% de incremento en el contenido de humedad en el rango comprendido entre 4,3 y 26.78 (bh), mientras que el calor

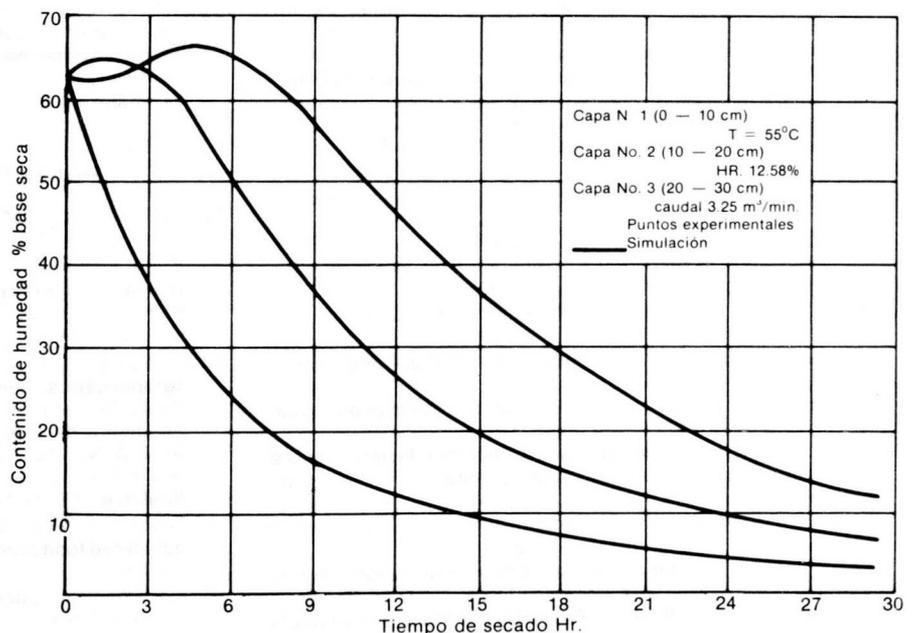


FIGURA 4. Puntos experimentales y simulados de secado de cacao en capa espesa.

específico. Cp, aumentó aproximadamente 1,9% sobre su valor más bajo por cada 1% del incremento de humedad, en el rango 4,3% a 56,8% (bh).

3. La ecuación hallada para el calor latente de vaporización, a partir de los datos de humedad de equilibrio fue la siguiente:

$$L_{\text{cacao}} = (597.6 - 0.57 T) [1 + 0.4062 \text{Exp}(-0.2365 M)]$$

para $6\% < M < 20\%$

4. Los coeficientes de la ecuación de la humedad de equilibrio obtenidos por regresión no lineal de parámetros a partir de los datos experimentales, fueron los siguientes:

$P_0 = 0.1087324$	$Q_0 = 0.022965424$
$P_1 = 0.23758842$	$Q_1 = -0.33506858$
$P_2 = -0.63848052$	$Q_2 = 0.95779665$
$P_3 = 0.56197989$	$Q_3 = -1.27182954$
	$Q_4 = 0.57395345$
	$Q_5 = -57.2913401$

5. Las constantes para la ecuación de secado en capa delgada seleccionada obtenidas experi-

mentalmente son:

$$m = 0.038637$$

$$n = 0.348640$$

$$q = 0.607191$$

6. De los resultados experimentales de secado en capa delgada se observa que, en un tiempo de 40 horas, se ha completado el secado para las temperaturas de 33°C y 54°C respectivamente, mientras que para la temperatura de 25°C el tiempo fue de 90 horas; resultados que enfatizan la importancia de la temperatura de secado con el tiempo de proceso.
7. Se comprobó experimentalmente la teoría de secado en capa espesa, ya que durante las tres primeras horas se presentó un secado de las dos capas próximas al plenum y una rehumidificación de la más alejada; durante el tiempo siguiente se presenta secado en todas las capas, para conseguir el equilibrio, hacia las 26 horas de secado.
8. La simulación matemática del proceso presentó una buena aproximación con el secado experimental, aunque hubo una diferencia de tres horas en el tiempo simulado.

BIBLIOGRAFIA

- BARROS, Ovidio. XII Informe anual del programa de mejoramiento de cacao. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. ICA Palmira. Marzo, 1979.
- BOHORQUEZ H. A. et al. Construcción y evaluación de dispositivos para determinar algunas propiedades físico-mecánicas y térmicas de los granos. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Departamento de Ingeniería Agrícola. Proyecto de Grado, 1981.
- BRAUDEAU, Jean. El cacao. Barcelona. Ediciones Blume, 1970.
- DUQUE, A. O. Procesamiento de cacao. Seminario de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrícolas. Medellín, 1974.
- EARLE, R. L. Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza España, 1967.
- FAO. Report of the training seminar on cocoa grading. Lagos, Nigeria. Octubre 2-6 de 1979.
- Federación Nacional de Cacaoteros. Datos estadísticos. Bogotá. Departamento de contabilidad, 1981.
- GÓMEZ, Gabriel. Consideraciones y recomendaciones sobre secamiento y uso del secador tipo Samoa. Universidad del Tolima. Ibagué, 1979.
- HALL, C. W. Drying Farm Crops. Agricultural Consulting Associates Inc. Michigan U.S.A., 1957.
- KREITH, Frank. Principios de transferencia de calor. Herrera Hermanos sucesores. S.A. México, 1974.
- MOSHENIN, Nuri N. Physical Properties of Plant and Animals materials. Volumen I. Gordon and Breach Science Publishers N. Y., 1970.
- MORITA, T. — SINGH, P. Physical and Thermal Properties of short-grain rough rice. American Society of Agricultural Engineers Transactions of the ASAE, 1979.
- MOSHENIN, Nuri, N. Thermal properties of Food and Agricultural materials. Department of Agricultural Engineering. The Pennsylvania State University (first preliminary edition). January 1975.
- NOSTI, N. Jaime. Cacao, café y té. Barcelona. Salvat Editores, 1962.
- RESTREPO, Luis F. Cacao, situación y perspectivas. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, Boletín técnico No. 83. Bogotá, Colombia, 1981.
- ROHAN, R. H. El beneficio del cacao bruto destinado al mercado, Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1974.
- ROSSI S. J. y ROA, G. Secagem armazenamento de produtos agropecuários, com uso de energia solar e ar natural. Sao Paulo. Secretaria da industria, comercio, ciencia e tecnologia. Academia de Ciencias do Estado de Sao Paulo. Publicacao ACIESP No. 22, 1980.
- SINTESIS ECONOMICA. Sector Agropecuario. Planes Vs. Realidad. Año IX No. 414. Junio 1984.
- OJHA, F. P. et al. Method of determining heat transfer through powdered food products. Transactions of the ASAE. 10 (4) PAE 543-544.
- HAPPACH, V. Cálculo técnico. Editorial Labor S.A. Barcelona España, 1966.