

EL SECADO DIRECTO E INDIRECTO DE PIÑA

THE DIRECT AND INDIRECT DRYING OF PINEAPPLE

DEYANIRA MUÑOZ MUÑOZ Y GERARDO CABRERA

PALABRAS CLAVE:

Secado, cáscara de piña, deshidratador solar, secador de contacto directo, cáscaras de frutas, velocidad de secado.

KEYWORDS:

Drying, pineapple shell, solar dryer, dryer direct contact, shells of fruits, drying speed

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el comportamiento de la velocidad de secado de cáscara de piña mediante secado directo e indirecto. Los experimentos se realizaron utilizando un deshidratador solar y un secador de contacto directo a escala piloto. En el primer caso las condiciones ambientales son las de candelaria en el valle del cauca y el segundo las de Manizales en Caldas. Se hicieron mediciones de las variables de interés como, temperatura seca y húmeda a la entrada y salida de los equipos, velocidad del aire y pérdida de humedad, éstas permitieron realizar las curvas de secado, obtener una eficiencia de la operación de secado de cáscara de piña del 73%, concluir que el secado directo tiene mayor eficiencia pero los costos se incrementan, mientras la deshidratación solar son menores. La cinética de secado en ambos sistemas se diferencia en los tiempos de secado.

ABSTRACT

In this work evaluate behavior of the speed of drying of pine apple residues by means of direct and indirect dried. The experiments were made using a solar dehydrator and a dryer of direct bonding on scale pilot. In the first case the environmental conditions are of municipality Candelaria in the department of Valle of the Cauca and the second of Manizales in department of Caldas. Measurements of the variables of interest like, dry and humid temperature to the entrance and exit of the equipment, speed of the air and

Recibido para evaluación: Noviembre 16 de 2005. Aprobado para publicación: Febrero 27 de 2006

1 Msc., Universidad del Cauca, demunoz@unicauca.edu.co

2 Msc., Universidad del Valle,

Correspondencia: Deyanira Muñoz, e-mail: demunoz@unicauca.edu.co

loss of humidity became, these allowed to make the drying curves, to obtain an efficiency of the operation of drying of, to obtain an efficiency of the operation of drying of pineapple residue of 73%, to conclude that the direct drying has greater efficiency but the costs are increased, while the solar dehydration is smaller. Kinetic of drying in the both systems difference in the masking times.

INTRODUCCIÓN

La operación de secado de frutas y residuos vegetales, involucra mecanismos de transferencia de materia y calor, estos se controlan para manejar un proceso ecoeficiente y obtener un producto de mejor calidad. Los parámetros de interés en una operación de secado son: actividad del agua, transferencia de materia y calor, difusión de la humedad y curvas de secado (1,2).

La eliminación de agua se da en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado, la etapa inicial ocurre cuando el producto y el agua en él contenida se calientan ligeramente. Posteriormente se produce una reducción importante del contenido en agua a velocidad de secado constante, ésta etapa tiene lugar a temperatura constante (bulbo húmedo del aire). En general la etapa de velocidad de secado constante finaliza al alcanzarse la humedad crítica; luego se presenta uno o varios períodos de velocidad de secado decreciente. La humedad crítica se identifica por el cambio brusco de la pendiente en la curva de velocidad de secado. (1,3)

La reducción de humedad en los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados de conservación, al reducir el contenido de agua se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y otros mecanismos asociados a él. El secado de productos de agrícolas ha sido un método ampliamente utilizado por países desarrollados y en vía de desarrollo, pero el tema toma vigencia en el sentido de manejar procesos ecoeficientes, es decir cerrados, sin impactos y económicamente rentables, esto implica aplicar herramientas de ingeniería, como son las variables de diseño de proceso.

En Europa, desde la primera guerra mundial se ha venido trabajando en los procesos de deshidratación de vegetales por medio de máquinas especiales, Pero durante la Segunda Guerra Mundial estos procedimientos alcanzaron un desarrollo notable. Los procedimientos actuales, muy superiores a todos los usados antes, mantienen el color y la textura de los alimentos. (3)

En Colombia se ha implementado el uso de secadores de carbón y gas, con el fin de obtener mayor cantidad de grano seco en menor tiempo en el secamiento de granos de café, en el Valle del Cauca y en Caldas se han construido secadores solares, se han construido curvas de secado con sus respectivos análisis, pero no se han confrontado curvas de secado directo e indirecto que establezca límites de operación entre sistemas de secado, que aprovechando diferentes fuentes de energía tienen el mismo fin de retirar humedad (4).

En este trabajo se evalúa el comportamiento de la pérdida de humedad en una cáscara de piña, las fases y períodos que presente las curvas de secado al utilizar secador solar y de contacto directo y luego se plantea el posible límite de operación de acuerdo al comportamiento dado por este parámetro.

MÉTODO

Método 1. Pérdida de humedad en una cáscara de piña con secador de contacto directo.

Materiales y equipos:

- Producto a secar (cáscara de piña)
- Secador directo de bandejas con su equipo de control
- 2 Termómetros de bulbo, seco y húmedo
- Mufla
- Crisol de porcelana
- Balanza
- Cronómetro
- Anemómetro
- Cuchillos
- Guantes de carmaza

Procedimiento:

El procedimiento para operar secador de bandejas con aires a través consiste en:

1. Calcular el contenido inicial de agua en el material a secar

2. Identificar y revisar general del equipo
3. Encender electrónico del secador
4. Encender del soplador y calentar del equipo
5. fijar la temperatura de secado
6. Revisar del flujo de aire y accesorios del equipo
7. Cargar de cáscaras de piña en almíbar sobre las bandejas y introducción en la cámara de secado
8. Tomar registro de los diferentes datos y realizar los respectivos cálculos.

Método 2. Pérdida de humedad en una cáscara piña con deshidratador solar

• **Materiales y equipos:**

Deshidratador solar de 8 colectores
Balanza
Cuchillos
Termómetro de bulbo húmedo y seco
Medidor de radiación solar
Anemómetro
Producto a secar (cáscara de piña)

• **Procedimiento:**

El procedimiento para operar el desecador solar fue:

1. Se determinó el contenido inicial de agua de la cáscara de piña, mediante método gravimétrico
2. Se caracterizó el aire para conocer las condiciones iniciales y finales de temperatura y humedad relativa del aire requerido, con base a datos meteorológicos de la estación de Gandelaria
3. se cargó la bandejas con 5 Kg de cáscara de piña
4. Se utilizó un periodo de secado de 5 a 6 horas
5. Se usó intervalos de pérdida de peso y de temperatura a la entrada y salida de la cámara entre 10 y 90 min
6. Con los datos obtenidos se elaboraron curvas de contenido de humedad con el tiempo, velocidad de secado con el contenido de humedad y temperatura al entrada de la cámara e irradiación contra el tiempo.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Método 1. Secado por contacto directo,

En el Cuadro 1 se reportan los datos de secado de cáscara de piña obtenidos en intervalos de 10 minutos, los

cálculos de la humedad en base seca (x), el peso de sólido seco $L_s = 0.086$ Kg determinado por método gravimétrico en mufla y el cálculo de la velocidad de secado (R). Tomando un área superficial expuesta de $A = 0.15$ m². Para los 10 primeros minutos se obtiene

$$(5): R = -\frac{L_s (X_2 - X_1)}{A (t_2 - t_1)} = 0.64 \text{ Kg agua/h m}^2$$

Ec. (1)

En el Cuadro 2, se reporta las condiciones del aire de entrada y de salida utilizado durante la operación de secado.

Teniendo en cuenta que la masa perdida por la cáscara de piña (HPP), es el agua, entonces se puede expresar como (6)

$$HPP = P_i - P_f$$

Ec. (2)

Donde:

P_i = Peso inicial = 0.686Kg

P_f = Peso final de piña = 0.248 Kg

$HPP = P_i - P_f = 0.668\text{Kg} - 0.248 \text{ Kg} = 0.440\text{Kg}$ Agua (humedad perdida por la cáscara de piña)

Cálculo de la humedad ganada por el aire:

La velocidad promedio (V) del aire durante el experimento fue: $U = 1.7$ m/s = 6120 m/s y el área del flujo para el aire de $A = 0.0491$ m², se obtiene el caudal $Q = 300.49$ m³/h., el flujo másico ($M = 230.62$ Kg/h) se expresa en función del caudal Q (m³/h) y el volumen específico húmedo del aire $V_h = 1.3030$ m³/Kg leído en la carta psicrométrica. (5)

Con base en las condiciones del aire de salida: $T = 53$ y $T_w = 25$, Se encontró que $Y'_s = 0.01212$ y $Y'_e = 0.01159$ Kg H₂O / Kg de aire seco, entonces la humedad ganada por el aire (HGA) se expresa como:

$$HGA = M \cdot (Y'_s - Y'_e) \cdot \theta_s =$$

$$230.62 \cdot (0.01212 - 0.01159) \cdot 6 = 0.7734 \text{ Kg}$$

Ec. (3)

Según el balance de materia la humedad perdida por la cáscara de piña debe ser igual a la humedad ganada por el aire; Por lo tanto la ecuación del balance de materia resultante es:

$$P_i - P_f = M \cdot (Y'_s - Y'_e) \cdot \theta_s$$

Ec. (4)

Comparando los resultados de la humedad ganada por el aire y la humedad perdida por la cáscara de piña se obtiene: HPP = 0.440 Kg y HGA = 0.7734 Kg con un porcentaje de error de: 43.1%

La capacidad dinámica del secador se calculó como (6,7):

$$CD = \frac{Pf}{\theta_c} = \frac{0.440Kg}{6hr} =$$

0.04731 kg de cáscara de piña seca/hr Ec. (5)

Cálculo de la eficiencia de la operación de secado (6,7):

Contenido real de agua del producto = 0.87464*0.686
Kg. = 0.600 Kg Ec. (7)

Agua total evaporada en la operación = (0.686 - 0.246)
Kg. = 0.440 Kg. Ec. (8)

Eficiencia = $\frac{0.600 \text{ kg.} * 100}{0.400 \text{ kg}}$ = 73.3% Ec. (9)

La Figura 1 muestra las curvas de secado obtenidas para cáscara de piña sometida un secamiento por contacto directo de aire por lo tanto en la figura 1a se muestra la perdida de peso del producto con el tiempo y la figura 1b muestra la perdida de humedad a través del tiempo, la cual presenta una tendencia muy similar a las curvas típicas, donde la humedad desciende exponencialmente desde 7 kgH₂O/KgSS hasta alcanzar la humedad de equilibrio de 2 kgH₂O/KgSS.

Se presenta las cuatros fases cuatros fases de secado: en la primera fase ascendente el calor eleva la temperatura de la cáscara de piña y del liquido asociado a la pulpa adherida en ella, sin embargo esta primera fase la velocidad de evaporación no es tan rápida como se aprecia en las gráficas. La ultimas fases, segunda constante y tercera fase decreciente se identifican con mayor claridad e indican que la velocidad y la temperatura tienen valores máximos y constantes y la superficie de la cáscara de piña aun permanece húmeda.

La Figura 1c, muestra la rapidez de variación de la velocidad de secado con respecto al contenido de humedad, en ella se puede tomar un periodo de velocidad constante y uno decreciente (postcritico), el primero va

Cuadro 1. Secado de cáscara de piña deshidratada

Tiempo (min)	Peso de producto (gr)	Humedad kgH ₂ O/kgSS	Vel. sec kgH ₂ O/m ² hr
0	686	6.9767	-
10	670	6.7907	0.64
20	658	6.6512	0.48
30	640	6.4419	0.72
40	629	6.3140	0.44
50	615	6.1512	0.56
60	605	6.0348	0.4
70	592	5.8837	0.52
80	581	5.7558	0.44
90	574	5.6744	0.28
100	562	5.5349	0.48
110	545	5.3372	0.68
120	532	5.1860	0.52
130	510	4.9302	0.88
140	493	4.7325	0.68
150	476	4.5349	0.68
160	464	4.3953	0.48
170	454	4.2791	0.4
180	438	4.0930	0.64
190	413	3.8023	0.71
200	395	3.5930	0.72
210	380	3.4186	0.6
220	371	3.3139	0.36
230	359	3.1744	0.48
240	348	3.0465	0.44
250	337	2.9186	0.44
260	328	2.8139	0.36
270	310	2.6046	0.72
280	295	2.4302	0.6
290	276	2.2093	0.76
300	265	2.0814	0.44
310	255	1.9651	0.4
320	250	1.9070	0.2
330	248	1.8837	0.08
340	245	1.8488	0.06
350	246	1.8605	0.04
360	248	1.8837	0.081

Cuadro 2. Condiciones de entrada y salida del aire tomados cada 30 min

Veloc. Aire (m/s)	Temp Entrada de aire		Temp Salida de aire	
	T. B. S (°C)	T. B. H (°C)	T. B. S (°C)	T. B. H (°C)
1.7	42	40	51	25
1.8	52	68	51	25
1.7	80	36	53	24
1.8	76	35	53	24
1.9	75	35	52	25
1.6	75	35	53	25
1.7	75	35	52	25
1.7	74	36	54	25
1.7	75	34	52	25
1.6	75	35	53	25
1.6	75	35	53	25
1.7	74	35	53	25
1.7	75	34	52	25

desde humedad inicial ($X_0 = 7 \text{ kgH}_2\text{O/KgSS}$ aprox.) hasta una humedad crítica ($X_c = 2.25 \text{ kgH}_2\text{O/KgSS}$ aprox.) y le corresponde una velocidad antecrítica = $0,6 \text{ kgH}_2\text{O/hr KgSS}$. En el segundo periodo la velocidad postcrítica es decreciente desde la humedad crítica hasta la final ($X_f = 1.98 \text{ kgH}_2\text{O/KgSS}$ aprox.).

La Figura 1d, se presenta la velocidad de evaporación con el tiempo con una tendencia similar a la curva teórica típica de secado, excepto en la fase creciente, donde es difícil identificar la tendencia posiblemente por las variaciones ambientales, fallas en los sistemas eléctricos que registran los datos durante la operación y a la estabilización del equipo, que se toman como causas de error inherentes a los experimentos en las condiciones que se lleven a cabo éstos.

La Figura 1e, corresponde a la pérdida de peso de la bandeja de control que el computador registra durante todo el experimento, ésta confirma la continua disminución de peso del producto y pérdida de humedad. Mientras que las curvas mencionadas anteriormente fueron obtenidas mediante método gravimétrico controlando el peso de otras bandejas que componen el

equipo de secado y la Figura 1f muestra el comportamiento de la temperatura del aire usado, evidenciando la transferencia de masa en la humidificación del aire.

Método 2. Secado de cáscara de piña mediante deshidratador solar.

En Cuadro 3 se registra los datos experimentales obtenidos mediante un deshidratador solar del secado de cáscara de piña de humedad inicial de 80% y peso de sólido seco $L_s = 1.0192 \text{ Kg}$, determinado por método gravimétrico. En el cuadro 4 se resume los cálculos de la cinética del secado correspondientes a la humedad del producto (X_T), contenido de humedad en base seca (X), humedad media (X_m) y velocidad de secado (R). Tomando un área superficial expuesta de $A = 1.4079 \text{ m}^2$, para tiempo de 30 minutos se obtiene:

$$R = - \frac{L_s (X_2 - X_1)}{A (t_2 - t_1)} =$$

$$= \frac{1.01920 \text{ kgSS} (3.975 - 3.929) \text{ kgH}_2\text{O} / \text{kgSS}}{1.40789 \text{ m}^2 (9.45 - 9.15) \text{ h}}$$

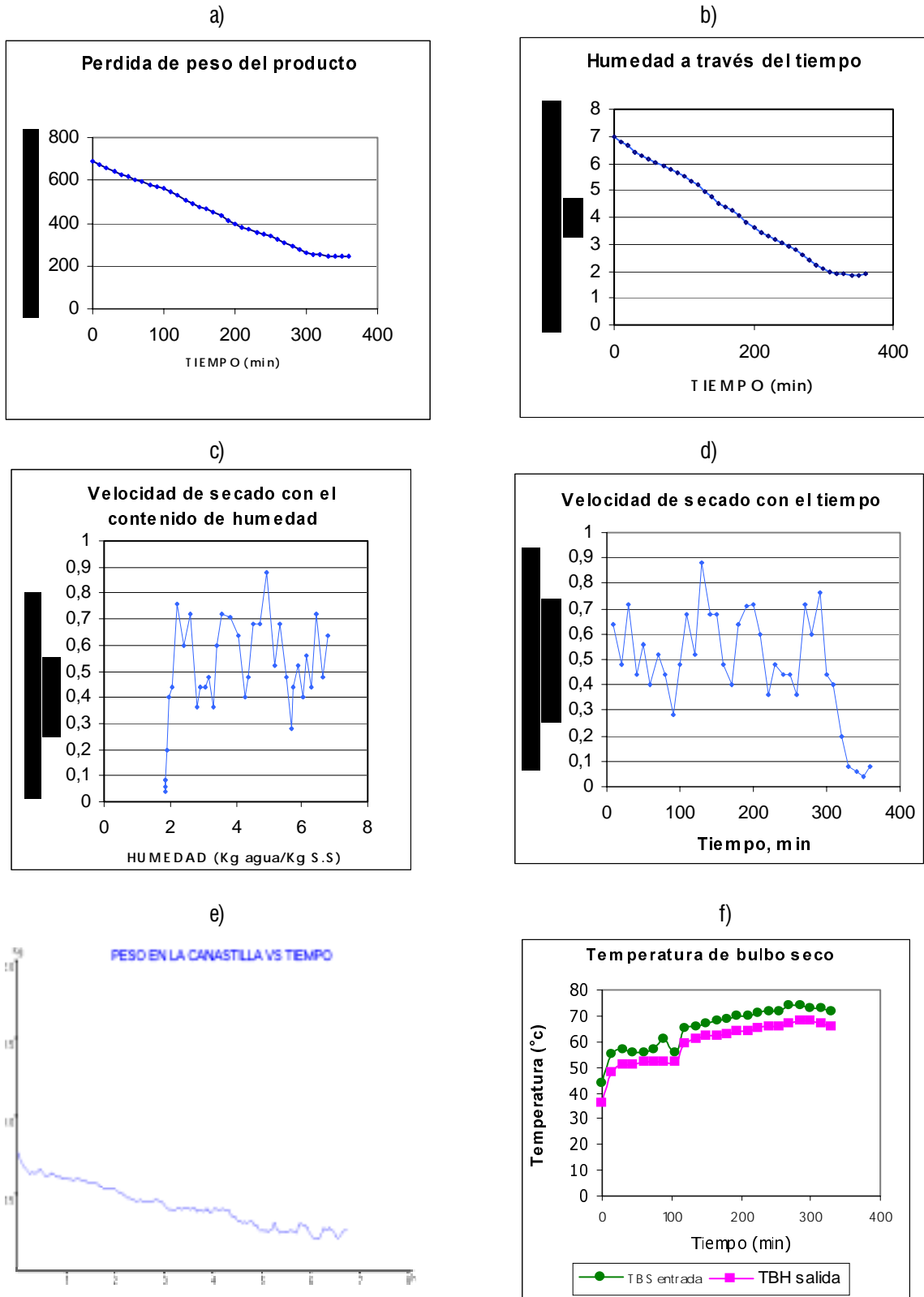
$$= 0.111 \frac{\text{kgH}_2\text{O}}{\text{m}^2 \text{ h}} \quad \text{Ec. (10)}$$

En la Figura 2, se muestran las curvas de secado de cáscara de piña obtenidas con deshidratador solar, en la figura 2a, la tendencia es similar a la curva de pérdida de peso obtenida en el método 1 y en ambos la fase de pérdida de peso constante se presenta en un rango de tiempo de 150 a 300 minutos también coinciden en la fase decreciente, indicando que el secado solar y por resistencia llevados a cabo en condiciones ambientales diferentes mantienen la tendencia de las curvas teóricas o típicas de secado (5,6).

La Figura 2b se observa que la pérdida de humedad en la cáscara de piña, es menor que el primer método en una proporción de 2 a 1, es decir en el primero se pierde 2 kg de agua/kgSS y se obtiene oficinas de secado del 73%, mientras en el segundo se estima en 1 kg de agua/kgSS., Muñoz D. y otros en 1996 reportan eficiencias de secado en cáscara de piña de 5 al 20% en deshidratador solar, evidenciando que este método elimina la menor cantidad de agua, sin embargo es el de menor costo en el sentido energético y ambiental.

La Figura 2c, muestra el comportamiento de la rapidez de secado con el contenido de humedad donde el pe-

Figura1. Curvas de secado por contacto directo



Cuadro 3. Datos experimentales de secado
Cáscara de piña con deshidratador solar

Tiempo min	Peso de producto kg	Temperatura en Cámara:°C	Temperatura Ambiente°C
0	5,096	35	19,7
30	5,046	36	22
60	5,001	41	22
90	4,941	45	24,9
120	4,891	45	24,9
150	4,808	50	26,1
180	4,696	55	26,1
210	4,62	45	27,2
240	4,556	50	27,2
270	4,486	49	27,1
300	4,424	39	27,1
330	4,396	32	27,6
360	4,348	39	27,6
390	4,276	33	27,8
420	4,266	34	27,8

Cuadro 4. Resumen del cálculo de los parámetros
cinéticos de secado

XT Kg	X kg H ₂ O/kgSS	X _m kg H ₂ O/kgSS	R kg H ₂ O/m ² h
4,077	4		
4,027	3,961	3,975	0,11
3,982	3,907	3,929	0,1
3,922	3,848	3,877	0,134
3,872	3,799	3,823	0,111
3,789	3,717	3,758	0,185
3,677	3,608	3,662	0,249
0,601	3,533	3,57	0,169
3,537	3,47	3,502	0,143
3,467	3,401	3,436	0,156
3,405	3,341	3,371	0,138
3,337	3,313	3,327	0,062
3,329	3,266	3,29	0,107
3,257	3,195	3,231	0,16
3,247	3,186	3,191	0,022

riodo antecritico es muy pequeño y el valor de velocidad constante es de 0.18 kg H₂O/m²h. La fase decreciente se inicia desde una humedad critica de 4.8 kg de agua/kgSS y termina en una humedad final de 3.2 kg de agua/kgSS. Al comparar los dos métodos en ambos la

tendencia es similar en el periodo postcritico, indicando que las condiciones ambientales afecta mas el secado solar que una operación controlada con una fuente de energía mas estable, sin embargo esto se puede tomar para establecer una condición de operación de secado con energía renovable (7,8).

En la Figura 2d, se evidencia una tendencia similar a las curvas teóricas, ocurre un periodo de estabilización del equipo, una fase donde la velocidad de evaporación tiende a ser constante si las condiciones ambientales se mantuvieran constantes, pero la radiación solar disminuye a medida que avanza el día y se inicia un proceso de enfriamiento. De manera igual que el primer método se observa una fase decreciente. En la figura 2e muestra que independiente de las condiciones ambientales la temperatura en la cámara se mantiene y absorbe la humedad del producto.

CONCLUSIONES

La eficiencia de la operación de secado de cáscara de piña del 73.3%, indica que el sistema de calentamiento de aire empleado fue estable con una perdida de calor aceptable y el proceso de secado se desarrollo en buenas condiciones de operación.

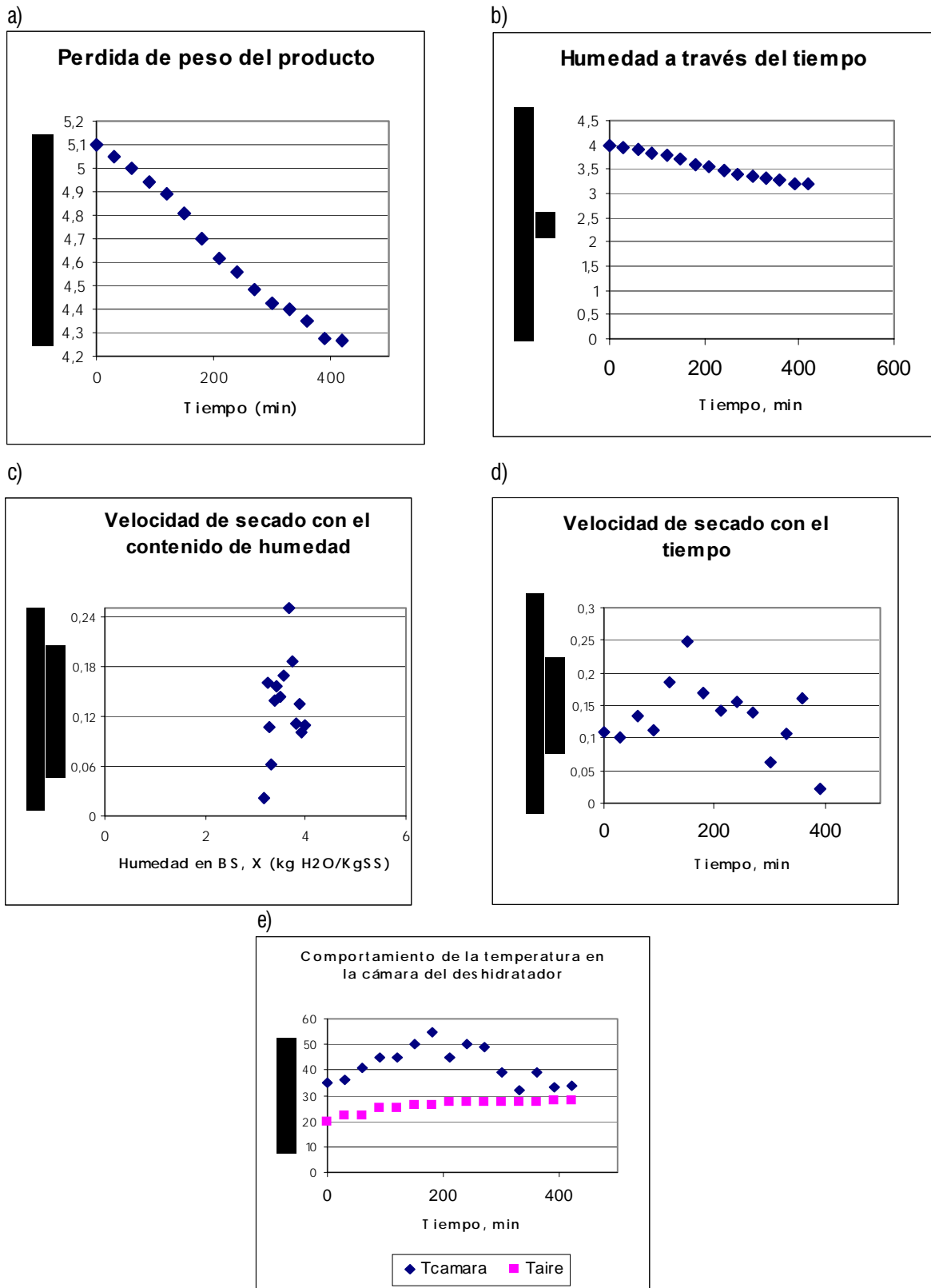
En la operación de secado, es importante controlar la humedad del producto en función del tiempo y temperatura de secado; al producto no le podemos extraer toda su humedad porque se estaría afectando la naturaleza (desnaturalización) y por lo tanto, cambiarían sus propiedades.

El secado con aire a través mediante calentamiento resistencias mostró mayor eficiencia en retirar humedad a la cáscara de piña, pero los costos de energía son mucho mayores que al realizarlo con un deshidratador solar, donde el costo no tiene valor.

La cinética de secado de cáscara de piña, utilizando secado con diferentes fuentes de energía convencional (eléctrica) y no convencional (solar) es similar a lo predicho por las curvas teóricas. La diferencia son los tiempos de secado de acuerdo a lo mostrado en los periodos de las curvas obtenidas. Este mismo resultado se puede obtener al deshidratar solo pulpa de piña.

Se puede establecer como condición de operación es-

Figura 2. Curvas de secado de cáscara de piña en deshidratador



timativa en secadores convencionales tanto del secado de cáscara o pulpa de piña, el manejo de velocidades de evaporación del orden de $0,6 \text{ kgH}_2\text{O/hr KgSS}$ en la fase de velocidad constante, mientras en deshidratadores solares valores alrededor de $0.18 \text{ kg H}_2\text{O/m}_2\text{h}$.

El rango de temperatura en la cámara de un deshidratador solar esta entre 30 y 60 °C, mientras en un secador convencional entre 40 y 70 °C, estos intervalos so muy similares teniendo en cuenta que los experimentos se llevaron a cabo en diferentes condiciones ambientales y geográficas

REFERENCIAS

- (1) SINGH, R. Paul, HELDMAN, Dennis R. "Introducción a la ingeniería de los alimentos". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España). 1998.
- (2) AFANADOR, Alberto. FONSECA, Víctor. LOPEZ, Darío. DURAN, Silvianna. Operaciones en la Industria de Alimentos III, Santa fe de Bogota, ED. Unisur, 1995.
- (3) Autores Varios. "Enciclopedia Ilustrada Cumbre". Editorial Cumbre, S.A. México. 1964
- (4) MUÑOZ D., GOMEZ S., OTROS, "Construcción y montaje de un deshidratador multifuncional solar para la desecación de residuos vegetales. Universidad del Valle, 1996.
- (5) TREYBALL, R., Operaciones con transferencia de masa, 2001.
- (6) GEANKOPLIS, C.;J., Procesos de Transporte y operaciones Unitarias, CECSA, 1982.
- (7) McCABE, SMITH, HARRIOT. Operaciones Unitarias En Ingeniería uímica. Cuarta edición. McGraw-Hill. 1991.
- (8) RODRIGUEZ V., L. A. Diseño, Construcción Y Evaluación De Un Secar De Granos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, octubre de 1996.