

## Cinética de Secado de Lúcuma (*Pouteria lucuma* L.)

### Drying Kinetics of Eggfruit (*Pouteria lucuma* L.)

Miguel Ángel Barrera Gurbillón<sup>1</sup>, Jorge Luis Maicelo Quintana<sup>1</sup>, Oscar Andrés Gamarra Torres<sup>2</sup> & Ranulfo Donato Cárdenas Alayo<sup>3</sup>

#### RESUMEN

La lúcuma (*Pouteria lucuma* L.) es una fruta que se comercializa en fresco y como harina, para emplearla como insumo en repostería e industria alimentaria. El objetivo del estudio fue determinar los parámetros que permitirán diseñar un secador de bandejas con flujo de aire caliente, con la finalidad de producir harina de lúcuma. Se empleó lúcuma fresca en su madurez fisiológica y con buen estado sanitario; la pulpa fue cortada en rodajas de 0,3 cm de espesor y colocadas en un secador de bandejas con aire caliente de laboratorio. Se ensayaron tres temperaturas para el aire de secado (40, 50 y 60 °C) y tres velocidades del aire: 2,5; 3,0 y 3,5 m/s. El tiempo mínimo de secado fue de 120 minutos. Los resultados experimentales indican que la mayor similitud de color de la pulpa seca con la pulpa fresca de lúcuma y por ende de la harina de lúcuma obtenida, se consigue trabajando con aire de secado a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 40 minutos, la humedad crítica de 0,48 g agua/g lúcuma seca, la humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g lúcuma seca y la velocidad de secado fue de 0,020 g agua/g lúcuma seca.minuto.

**Palabras clave:** cinética, harina, lúcuma

#### ABSTRACT

The eggfruit (*Pouteria lucuma* L.) is a fruit, which is marketed as fresh and flour, for use as feedstock in confectionery and food industry. The objective was to determine the parameters that will design a tray dryer with hot air flow, in order to produce flour of eggfruit. The eggfruit was used fresh in their physiological maturity and with good sanitary conditions, the pulp was cut into slices 0.3 cm thick and placed in a tray dryer laboratory with hot air. Three temperatures were tested for air drying (40, 50 and 60 °C) and three air speeds: 2.5; 3.0 and 3.5 m/s. The minimum drying time was 120 minutes. The experimental results indicate that the greater similarity of color of dry pulp eggfruit fresh pulp and therefore eggfruit flour obtained when working with drying air at temperature of 50 °C and velocity of 3.5 m/s, with these conditions critical time air drying was 40 minutes, the critical moisture content of 0.48 g water/g dry eggfruit, the equilibrium moisture of 0.04 g water / g dry eggfruit speed drying was 0.020 g water / g eggfruit dry.minute.

**Key words:** kinetics, flour, eggfruit

## INTRODUCCIÓN

Han estudiado y modelado el secado por aire caliente de papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) a diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 y 80 °C) con velocidad de aire de  $2.0 \pm 0.2$  m/s. Durante los experimentos se observaron los periodos de inducción, velocidad constante y decreciente (Vega y Lemus, 2006).

Para encontrar un modelo para predecir el tiempo de secado de pulpa de mango (*Mangifera indica*) con diferentes condiciones de temperatura, construyeron un secador de laboratorio en el que realizaron pruebas de secado a temperaturas de 55, 60 y 65 °C, con una velocidad del aire constante de 2.0 m/s (Ocampo, 2006).

En la búsqueda bibliográfica realizada no se ha encontrado trabajos para determinar la cinética de secado de lúcuma, ni información sobre las técnicas de secado de esta fruta. Solo existen referencias que se comercializa la lúcuma como fruta fresca y como harina, con gran potencial para exportación.

La lúcuma es un frutal oriundo de Sudamérica, se produce en Colombia, Ecuador, norte de Chile y Perú; que es el principal productor a nivel mundial con una participación de 88 %. La mayor producción a nivel nacional está en: Lima que concentra el 68 % de la producción y en menor escala Piura, Cajamarca, La Libertad, Ica y Ayacucho (MINAG-OIA, 2003) (Villanueva, 2002).

En la actualidad su exótico sabor es demandado por la más refinada gastronomía internacional. Es por ello que la lúcuma ha mostrado durante el año 2005, un notable crecimiento en sus exportaciones alcanzando los US\$ 146621, lo cual ha representado para su sector, un aumento del 76 % en comparación con el mismo periodo (enero - noviembre) observado durante el 2003 en el cual se logró US\$ 83140 (Aduanas, 2005).

Hay dos grandes tipos de lúcuma: seda y palo. La primera tiene un alto contenido de agua y se come fresca, mientras que la segunda es más seca y es usada principalmente para hacer helados. Dentro de ellas, existen 120 biotipos diferentes, que combinan distintos tamaños, colores, olores, sabores y contextura de pulpa. Actualmente se cultiva entre los 0 y 2800 msnm. Se adapta a climas subtropicales

con temperaturas bajas mayores a 12 °C. Tolerancia a suelos salinos y periodos secos. Su pulpa es suave, de textura harinosa, aroma muy agradable, color amarillo-naranja. Los biotipos de costa mayormente presentan un elevado contenido de agua en la pulpa, que evita la característica harinosa propia de los biotipos de sierra, como los de Ayacucho. Aparte de su agradable sabor, tiene la ventaja de ser un fruto resistente, ya sea como harina o pulpa congelada, resiste en condiciones de transporte y almacenaje óptimo, largos periodos sin perder sus características originales (Villanueva, 2002).

**La lúcuma** posee un alto valor nutricional y es una gran fuente de carbohidratos, vitaminas y minerales. El fruto procesado como harina se emplea en la preparación de helados, golosinas, repostería, pastelería, jugos, tortas, dulces, yogurt, flan y como saborizante de alimentos. La harina puede ser transportada a largas distancias y/o almacenada de 1 a 2 meses en lugares oscuros (por ser la harina fotosensible), en ambiente ventilado, sin perder sus características originales. La harina que sobrepasa estos periodos tiende a perder sus características de aroma y color (tiende a blanquearse). La harina expuesta a la luz se oxida rápidamente, tomando un tono marrón oscuro (Villanueva, 2002).

La producción de lúcuma se destina principalmente a la agroindustria para la producción de harina y pulpa de lúcuma. Para el mercado internacional se destina aproximadamente el 1% de la producción de lúcuma. A nivel local se abastece principalmente a la producción de helados Nestlé. La mayor producción de lúcuma se concentra de noviembre a abril en los valles de la costa y en los valles interandinos de julio a agosto. Existe un gran potencial gracias al clima propicio con que cuenta el Perú para la producción de este fruto nativo (MINAG-OIA, 2003).

A continuación se definen los términos utilizados para describir el contenido de humedad de las sustancias (Ocón y Tojo, 1980; Perry y Chilton, 1982; Geankoplis, 1993).

**Contenido de humedad en base seca**, es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso de sólido seco. Se define como:  $Y_s = [(masa\ sólida\ a\ secar - masa\ sólida\ seca) / masa\ sólida\ seca] \times 100$

**Contenido de humedad en equilibrio ( $Y_{eq}$ )**, es la humedad límite a la cual un material dado se puede secar, en condiciones específicas de temperatura y humedad del aire.

**Contenido crítico de humedad ( $Y_c$ )**, es el contenido de humedad promedio cuando concluye el periodo de velocidad constante.

**Contenido de humedad libre ( $Y_l$ ) o humedad residual ( $Y_r$ )**, es el líquido que se puede separar a una temperatura y humedad dadas. Este valor llega a incluir tanto la humedad ocluida como la no ocluida (retenida). Si  $m$  es el peso del sólido húmedo (agua más sólido seco) en kg, y  $S$  es el peso del sólido seco en kg:  $Y_r = (m - S) / S$ .

**Periodo de velocidad constante**, es el tiempo de secado durante el cual la velocidad de eliminación de agua por unidad de superficie es constante o uniforme.

**Periodo de velocidad decreciente**, es el tiempo de secado durante el cual la velocidad instantánea de secado disminuye en forma continua.

Para reducir el contenido de humedad de diversos materiales, se debe evaluar experimentalmente las diferentes condiciones de velocidad y temperatura del aire empleado, y el tiempo requerido para lograr el grado de secado deseado. Las mediciones de velocidad del secado por lotes se obtienen a partir de datos experimentales y proporcionan mucha información para la operación por lotes y también para la continua (Ocón y Tojo, 1980).

Usando los valores de  $Y_r$  calculados se hace una gráfica del contenido de humedad residual en función del tiempo. Para obtener la curva de velocidad de secado se calcula  $-dY/dt$  para distintos contenidos de humedad (Ocón y Tojo, 1980; Instruction Manual, 1997).

La velocidad del aire de secado ( $W$ ) influye sobre esta operación. A mayor velocidad, menor tiempo de secado: sin embargo, para una muestra dada, a cualquier velocidad del aire la humedad crítica ( $Y_c$ ) y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no variarán (Vernon, 2000).

Un secador de bandejas es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan sobre bandejas perforadas. La transmisión de calor es directa del aire a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de aire caliente (Perry y Chilton, 1982). El funcionamiento satisfactorio de los secadores de bandejas depende de mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme y paralela sobre todo el material que se esté secando. Conviene tener una circulación de aire con velocidades de 1 a 10  $m/s$  para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado (Vernon, 2000; Perry y Chilton, 1982).

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de la velocidad del aire de secado, paralelo a la muestra, a tres temperaturas diferentes, sobre la conservación del color de la pulpa de lúcumá seca similar a la fresca. Para ello se seleccionó como temperaturas de trabajo del aire de 40, 50 y 60 °C y las velocidades del aire de secado de 2,5; 3,0 y 3,5  $m/s$ .

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el estudio se emplearon tres temperaturas (40 °C, 50 °C y 60 °C) del aire de secado con las siguientes velocidades del aire: 2,5  $m/s$ , 3,0  $m/s$  y 3,5  $m/s$ . Al inicio de cada corrida experimental se verificó la temperatura y la velocidad del aire de acuerdo a lo planificado para esta investigación. Enseguida se pesó el soporte junto con las tres bandejas de malla metálica (SB). Para cada par temperatura – velocidad del aire, se realizaron pruebas por triplicado.

Se empleó frutos de lúcumá en su estado de madurez fisiológica, los que fueron pelados y se les retiró las pepas. La pulpa fue cortada en rodajas de 0,3 cm de espesor y se colocaron ordenadamente sobre cada una de las tres bandejas de malla metálica del secador de bandejas con flujo de aire caliente, del Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Para secar la pulpa de lúcumá se empleó una corriente de aire forzado por un soplador de

velocidad regulable que permitió fijar cada una de las velocidades de trabajo (2,5; 3,0 y 3,5 m/s) las que se midieron con un anemómetro digital en la boca de salida del aire después de haber pasado por la cámara de secado. El aire pasó a través de un ducto que tiene cuatro resistencias eléctricas de 2000 W cada una, donde se calentó hasta cada una de las temperaturas de trabajo de esta investigación (40, 50 y 60 °C), la que se midió en la cámara de secado, se reguló y estabilizó mediante un sensor-controlador electrónico de temperatura. El aire caliente ingresó inmediatamente a la cámara de secado que contenía tres bandejas de malla metálica con las rodajas de pulpa de lúcumá, y su flujo fue paralelo a la muestra. El soporte de las bandejas se colgó de una balanza de triple brazo ubicada sobre la cámara de secado, con la cual se midió la masa del conjunto (soporte, bandejas y rodajas de lúcumá) cada 5 minutos (P1), desde el inicio de la operación de secado (tiempo cero) hasta el final (440 minutos como máximo). Al final de este tiempo, las rodajas de lúcumá de las tres bandejas se colocaron en la estufa a 90 °C, en cajas de papel, para secarlas hasta peso constante, para determinar el peso seco de la lúcumá (S). Los datos experimentales se registraron y procesaron como se muestra en las Tablas de la sección de resultados.

Se empleó lúcumá en su estado de madurez fisiológica para determinar su contenido de azúcares reductores, empleando el método de Lane y Eynon de titulación de reactivo de Fehling (previamente valorado con glucosa al 0,5 % (p/v)) con jugo de lúcumá filtrado.

## RESULTADOS

El rendimiento promedio de los frutos de lúcumá maduros empleados fue de 73,13 % de pulpa, 11,66 % de pepa y 15,21 % de cáscara.

Con el analizador de humedad ADAM AMB50 se determinó la humedad de la lúcumá madura que se

empleó en esta investigación, obteniéndose 59,11 % (en base seca) al funcionar el analizador automáticamente a 111 °C durante 28 minutos y 42 segundos. Este valor equivale a 56,21 % en base húmeda.

El peso de las rodajas de lúcumá cada 5 minutos se calculó con la fórmula:  $P_2 = P_1 - SB$

Para calcular la humedad residual de las rodajas de lúcumá cada 5 minutos se empleó la siguiente fórmula:  $Y = (P_2 - S)/S$

La variación de la humedad con el tiempo ( $-dY/dt$ ) se calculó con la siguiente fórmula (Ocón y Tojo 1980):  $-dY/dt = (Y_i - Y_{i+1})/(t_i - t_{i+1})$

Para calcular la humedad residual promedio ( $Y_m$ ) se empleó la siguiente fórmula:

$$Y_m = (Y_i + Y_{i+1})/2$$

Los resultados experimentales de las repeticiones realizadas para cada par temperatura-velocidad del aire de secado mostraban la misma tendencia por lo que se consideraron únicamente como una confirmación. Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de lúcumá realizadas con aire a 40 °C y velocidades de 2,5, 3,0 y 3,5 m/s se muestran en la Figura 1; donde se aprecia que la humedad crítica ( $Y_c$ ) fue 0,40 g agua/g lúcumá seca y la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) fue 0,04 g agua/g lúcumá seca, valores que no variaron a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado. El tiempo crítico disminuyó conforme aumentó la velocidad del aire de secado. Los valores de humedad de la pulpa de lúcumá al inicio fueron similares. Para presentar las curvas en una sola figura se recortaron las curvas a menor velocidad del aire en su tramo inicial de velocidad constante, pues el objetivo era determinar la humedad crítica, la humedad de equilibrio y el tiempo crítico. Este recorte no afecta los resultados.

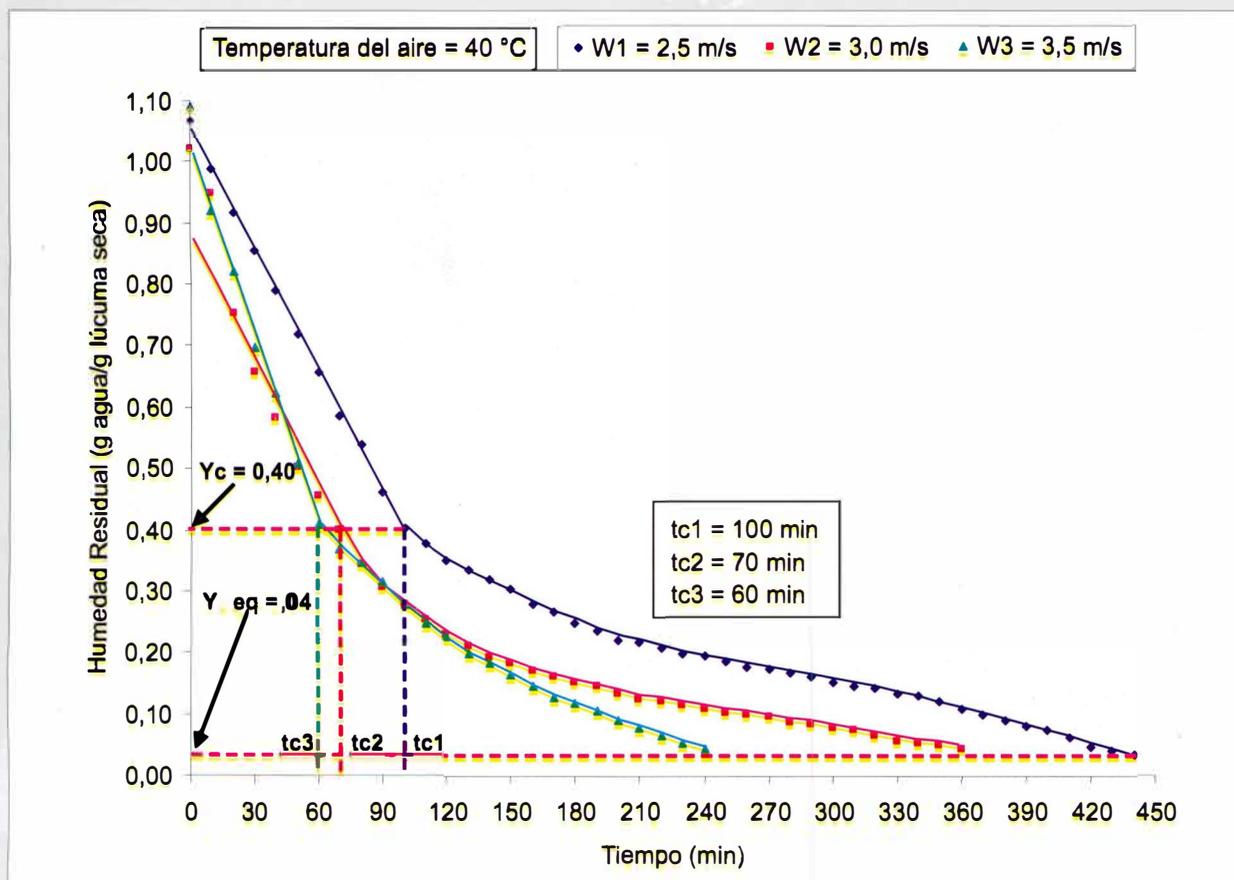


Figura 1. Humedad residual en función del tiempo ( $T = 40\text{ °C}$ ;  $W1 = 2,5\text{ m/s}$ ;  $W2 = 3,0\text{ m/s}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

Los resultados de las corridas experimentales de secado de rodajas de lúcumá realizadas con aire a  $50\text{ °C}$  y velocidad de  $3,5\text{ m/s}$  se muestran en la Tabla 1; y en la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos a las tres velocidades ensayadas, donde se aprecia la misma tendencia que en la Figura 1, pero la humedad crítica fue  $0,48\text{ g agua/g lúcumá seca}$  y la humedad de equilibrio fue  $0,04\text{ g agua/g lúcumá seca}$ . Los

resultados a  $60\text{ °C}$  y velocidades de  $2,5$ ,  $3,0$  y  $3,5\text{ m/s}$  se muestran en la Figura 3, donde se aprecia que la humedad crítica fue  $0,51\text{ g agua/g lúcumá seca}$  y la humedad de equilibrio fue  $0,04\text{ g agua/g lúcumá seca}$ , valores que se mantuvieron constantes a pesar de haber empleado diferentes velocidades del aire de secado. El tiempo crítico mantuvo la misma tendencia que en las Figuras 1 y 2.

Tabla 1. Datos experimentales de la operación de secado de rodajas de lúcumá, en secador de bandejas con flujo de aire a 50 °C y velocidad de 3,5 m/s.

Nº	Tiempo (min)	Peso estructura + lúcumá al tiempo t (g)	Peso rodajas al tiempo t (g)	Humedad residual (g agua/g planta seca)	dY/dt (g agua/g ss.min)	Ym (g agua/g planta seca)
		P1	P2 = P1 - SB	(P2-S)/S		
1	0	1070.0	337.0	1.41	0.033	1.239
2	10	1023.3	290.3	1.07	0.026	0.942
3	20	986.9	253.9	0.81	0.019	0.718
4	30	960.5	227.5	0.62	0.017	0.538
5	40	936.6	203.6	0.45	0.012	0.394
6	50	920.0	187.0	0.33	0.009	0.287
7	60	906.7	173.7	0.24	0.006	0.208
8	70	897.8	164.8	0.18	0.005	0.153
9	80	891.4	158.4	0.13	0.003	0.114
10	90	886.9	153.9	0.10	0.002	0.087
11	100	883.8	150.8	0.08	0.001	0.069
12	110	881.7	148.7	0.06	0.001	0.057
13	120	880.5	147.5	0.05	0.000	0.050
14	130	879.8	146.8	0.05	0.000	0.046
15	140	879.2	146.2	0.04	0.000	0.042
16	150	878.8	145.8	0.04	0.000	0.040
17	160	878.5	145.5	0.04	0.000	0.037
18	170	878.2	145.2	0.04	0.000	0.018

SB = 733,0 g

S = 140,11 g

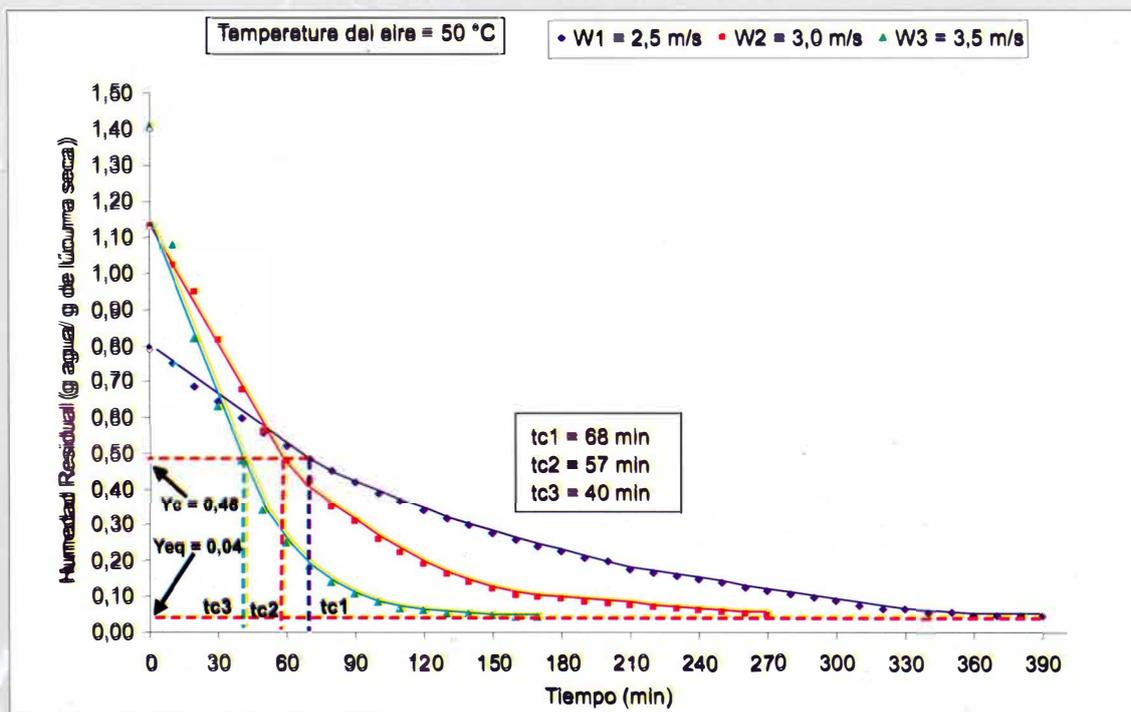


Figura 2. Humedad residual en función del tiempo (T = 50 °C; W1 = 2,5 m/s; W2 = 3,0 m/s; W3 = 3,5 m/s)

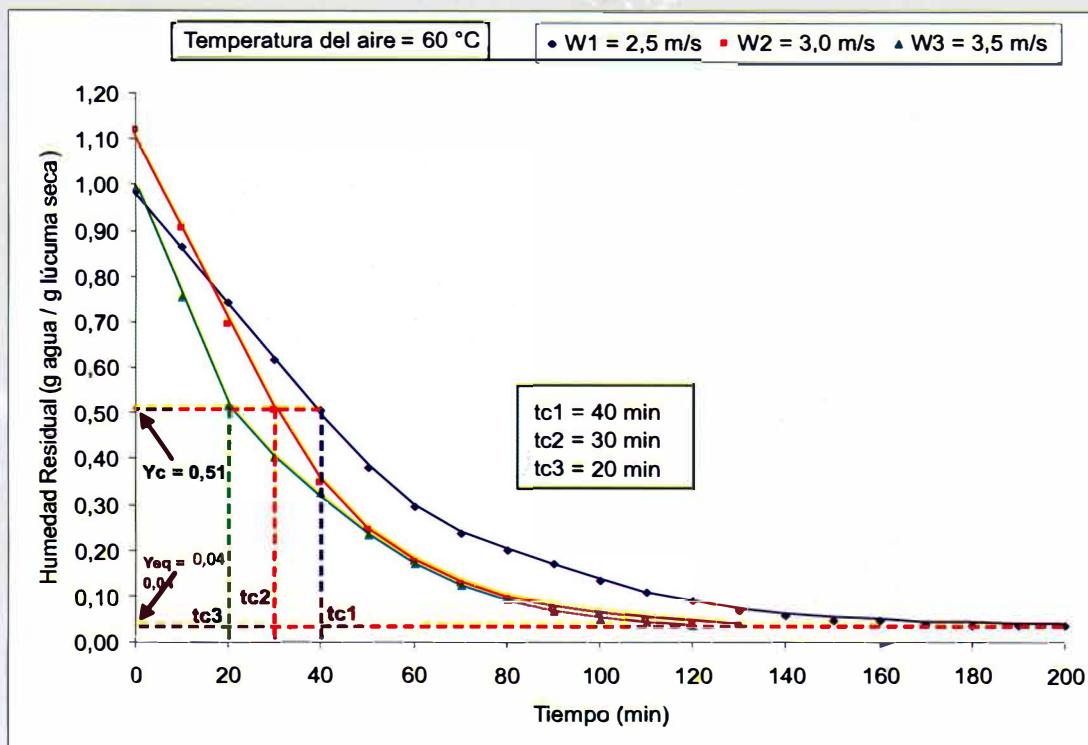


Figura 3. Humedad residual en función del tiempo ( $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $W1 = 2,5\text{ m/s}$ ;  $W2 = 3,0\text{ m/s}$ ;  $W3 = 3,5\text{ m/s}$ )

Al inicio del secado, la muestra se coloca en la cámara del secador a una temperatura menor a la de esta cámara; debido a ello, los datos iniciales tienden a generar una curva por lo que se desprecian; los siguientes datos recién se ajustan a una recta y son los que interesan. A esta primera etapa del secado se le denomina período de inducción donde se produce un calentamiento del producto, adaptándose el material a las condiciones del secado y dado que su duración es muy corta con respecto al tiempo total de secado, no se toma en cuenta para el diseño de secadores industriales (Ibarz y otros, 2000). La característica que muestran las curvas de secado es una sección recta que corresponde a la etapa de secado a velocidad constante y una sección curva que corresponde a la etapa de secado a velocidad decreciente. Cuando termina la sección recta y se inicia la curva, se lee en la gráfica el tiempo crítico ( $t_c$ ) y la humedad crítica ( $Y_c$ ). Al final la curva tiene un comportamiento asintótico con el eje de las abscisas (tiempo) y permite leer en la gráfica la humedad de equilibrio ( $Y_{eq}$ ).

Las Figuras 4 a 6 corresponden a las gráficas de velocidad de secado ( $dY/dT$ ) vs humedad residual promedio ( $Y_m$ ), para cada una de las temperaturas ensayadas. Puede observarse que los valores de los parámetros cinéticos  $t_c$ ,  $Y_c$  y  $Y_{eq}$  leídos de las

Figuras 1 a 3, concuerdan con los leídos en las Figuras 4 a 6.

En las Figuras 4 a 6, el tramo recto horizontal es el período de velocidad constante de secado, y está asociado a la eliminación del agua no ligada al producto, en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Al inicio, la superficie del producto se encuentra muy húmeda, el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior del sólido. El período de velocidad constante continúa mientras el agua evaporada en la superficie pueda ser compensada por la que se encuentra en el interior. El período de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir; en esta etapa, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor, se representa por la línea que baja hasta cortar el eje de las abscisas. Este período se puede dividir en dos partes: la primera se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está completamente seca, luego ocurre una inflexión que representa la segunda parte de este período donde el plano de evaporación se traslada al interior del sólido. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del sólido hasta la superficie de evaporación, y el vapor

de agua producido se mueve a través del sólido en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no hay diferencias marcables entre estas dos

partes del periodo de velocidad decreciente (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005).

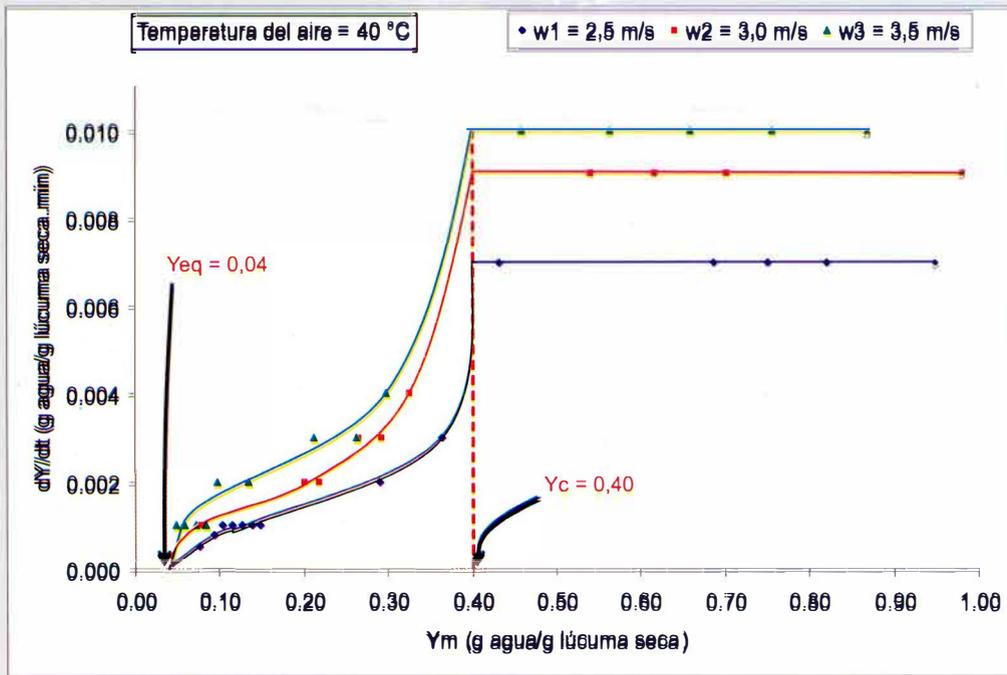


Figura 4. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T = 40 °C; W = 2,5; 3,0 y 3,5 m/s)

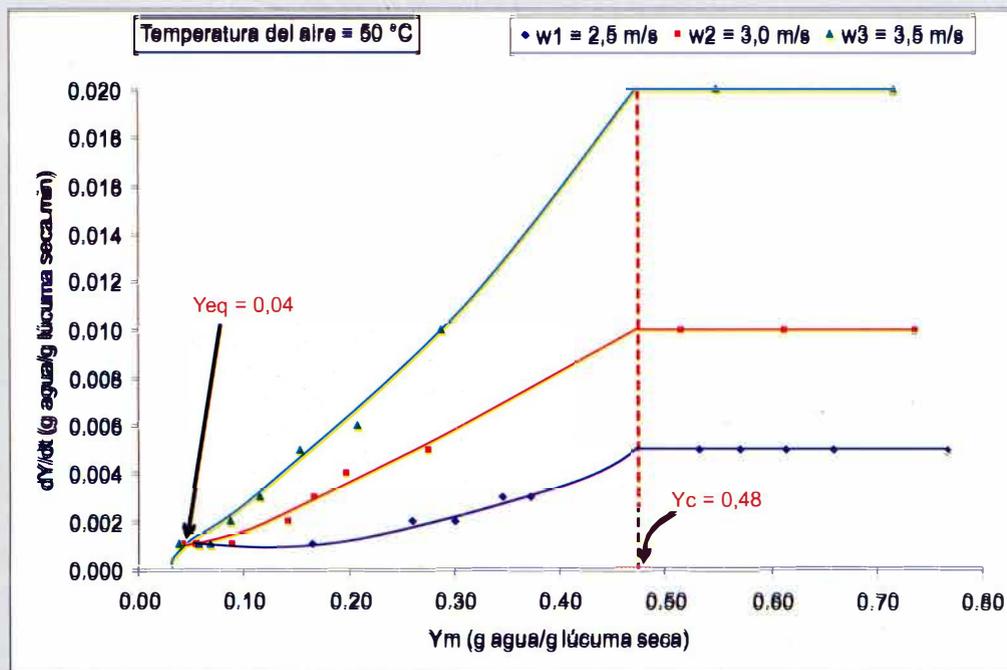


Figura 5. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio (T = 50 °C; W = 2,5; 3,0 y 3,5 m/s)

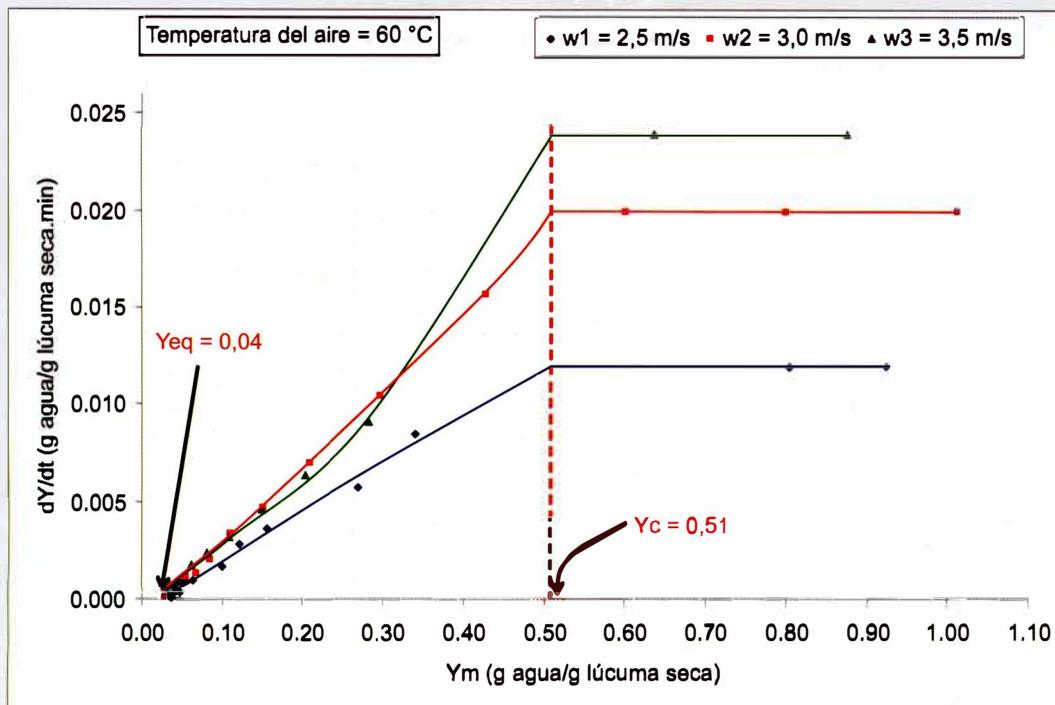


Figura 6. Variación de la humedad con el tiempo en función de la humedad residual promedio ( $T = 60\text{ °C}$ ;  $W = 2,5; 3,0$  y  $3,5$  m/s)

La pulpa seca de lúcumá presentaba diferencias visuales de color muy marcadas con respecto a la pulpa fresca, excepto para las condiciones de secado seleccionadas como las adecuadas, por lo que no fue necesario hacer mediciones de color. En función de la conservación del color del producto más similar a la lúcumá fresca y por ende de la harina de lúcumá obtenida, se debe trabajar con aire de secado a una temperatura de  $50\text{ °C}$  y velocidad de  $3,5$  m/s; con estas condiciones del aire el tiempo crítico de secado fue de 40 minutos (Figura 2), la humedad crítica de  $0,48$  g agua/g lúcumá seca, la humedad de equilibrio de  $0,04$  g agua/g lúcumá seca y la velocidad de secado fue de  $0,020$  g agua/g lúcumá seca.minuto (Figura 5); estos son los parámetros cinéticos del secado de lúcumá que se puede emplear para diseñar un secador de bandejas para secar lúcumá en rodajas. La humedad inicial promedio de la lúcumá en base húmeda fue de  $56,21\%$ .

Para la determinación del contenido de azúcares reductores se empleó  $512$  g de lúcumá en su estado de madurez fisiológica, de la que se obtuvo  $343$  g de pulpa y  $169$  g de cáscaras y pepas. A la pulpa de lúcumá se le adicionó agua destilada hasta

completar  $1000$  mL; y se licuó, luego se coló y se filtró con algodón, y finalmente el jugo se filtró al vacío, obteniéndose  $180$  mL de jugo. Se determinó que el jugo filtrado contenía  $4,827$  g de glucosa/L jugo filtrado;  $14,073$  g glucosa/kg pulpa lúcumá y  $9,428$  g glucosa/kg lúcumá entera.

## DISCUSIÓN

Sobre la base de las Figuras 1 hasta la 3, se puede asegurar que a mayor velocidad del aire de secado, menor tiempo de secado; en consecuencia también menor tiempo crítico; y para cada una de las temperaturas ensayadas, las humedades crítica ( $Y_c$ ) y de equilibrio ( $Y_{eq}$ ) no varían con el incremento de la velocidad, como se observa en las Figuras 4 a la 6. Esto concuerda con lo encontrado por Vernon (2000).

Se puede deducir que a mayor temperatura del aire de secado, sin que influya la velocidad del aire, la humedad crítica aumenta mientras que la humedad de equilibrio se mantiene constante. Esto se debe a que a mayor temperatura, la humedad superficial es

retirada más rápido de lo que migra del interior del cuerpo hacia su superficie.

Las curvas de secado tienen función lineal y exponencial en el periodo de velocidad constante y decreciente, respectivamente; para cada una de las temperaturas ensayadas y los diferentes valores de velocidad del aire evaluado, similar a lo encontrado por Vega y Lemus (2006).

El tiempo crítico de secado más bajo fue de 20 minutos al trabajar con aire a 60 °C y 3,5 m/s; y el tiempo crítico más alto fue de 100 minutos al trabajar con aire a 40 °C y 2,5 m/s. Por lo que para reducir el tiempo de secado debe trabajarse a mayor temperatura, pero teniendo el cuidado de no afectar la calidad de la pulpa de lúcumá seca.

A mayor velocidad del aire de secado, a temperatura constante, se observó que el color de la pulpa de lúcumá seca es más similar a la pulpa fresca; por lo que será recomendable secar la pulpa de lúcumá con aire a la temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s, que dará un tiempo crítico de 40 minutos. A estas condiciones de trabajo, a los 85 minutos de operación del secador de bandejas, la pulpa de lúcumá habrá bajado su humedad promedio de 56,21 % (en base húmeda) hasta la humedad de 10 % en base húmeda, que el valor adecuado para molerla y obtener harina de lúcumá. Con la temperatura de 60 °C a la misma velocidad, la pulpa de lúcumá tiende a oscurecerse.

La menor velocidad del aire implica mayor tiempo de secado; por tanto, mayor consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del soplador y de las resistencias eléctricas para calentar el aire hasta la temperatura de trabajo. Si se realiza la operación de secado de pulpa de lúcumá a la velocidad de 3,5 m/s, el tiempo de secado es menor y en consecuencia la operación será más económica. Los parámetros cinéticos del secado de pulpa de lúcumá obtenidos en esta investigación permitirán diseñar un secador de bandejas para operación industrial, con el propósito de dar un valor agregado a la producción de lúcumá y aprovechar la demanda insatisfecha de harina de lúcumá para exportación. Todas las corridas experimentales se realizaron hasta que la humedad residual tenía una variación mínima y se estandarizó como punto final de la operación en el secador cuando esta humedad

alcanzaba el valor de 0,04 g agua/g lúcumá seca, que viene a ser la humedad de equilibrio, lo cual se aprecia mejor en las Figuras 2 y 3. Esto se hizo debido a que uno de los objetivos de este trabajo de investigación fue determinar los parámetros cinéticos del secado de pulpa de lúcumá.

## CONCLUSIONES

1. A mayor velocidad y temperatura del aire de secado en el secador de bandejas, se reducirá el tiempo de secado, pero deberá tenerse cuidado pues una temperatura muy alta puede afectar la calidad de la pulpa de lúcumá seca.
2. Las condiciones a las cuales se conserva el color de la pulpa seca similar a la fresca y que permitirán obtener una harina de lúcumá de calidad son las siguientes: se debe secar la pulpa en un secador de bandejas con aire a una temperatura de 50 °C y velocidad de 3,5 m/s; que dará un tiempo crítico de secado de 40 minutos, humedad crítica de 0,48 g agua/g lúcumá seca, humedad de equilibrio de 0,04 g agua/g lúcumá seca y velocidad de secado de 0,020 g agua/g lúcumá seca.minuto; estos son los parámetros cinéticos del secado de lúcumá en el secador de bandejas.
3. Será suficiente secar la pulpa de lúcumá durante 85 minutos en el secador de bandejas, con aire a 50 °C y 3,5 m/s, para que la humedad en base húmeda de la pulpa baje hasta 10 %, lo que facilitará su molienda y empaque seguro como harina de lúcumá.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduanas (1995-2005). Exportaciones de Lúcumá. Perú.
- Geankoplis, C.J. 1993. Transport Process and Unit Operations. Prentice-Hall, Inc. USA.
- Ibarz R., A. y Barbosa-Cánovas, G.V. 2005. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ibarz R., A., Barbosa-Cánovas, G.V., Garza G., S. y Gimeno A., V. 2000. Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria. Editorial ACRIBIA S.A. Zaragoza, España.

- Instruction Manual Tray Drier UOP8. Issuc 11. March 1997. Armfield Limited.
- MINAG-OIA. (1997 – 2003). Cultivos según departamento. Ministerio de Agricultura Oficina de Información Agraria. Perú.
- Ocampo, A. 2006. Modelo cinético del secado de pulpa de mango. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 5 p.119-128. Junio 2006. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia.
- Ocón G., J. y G. Tojo B. 1980. Problemas de Ingeniería Química. Tomo II. Editorial Aguilar S.A. 5ta. Reimpresión. España.
- Perry, J. y C. Chilton. 1982. Manual del Ingeniero Químico. Editorial McGraw-Hill. 2da. Edición. Bogotá.
- Vega, A.A. y R.A. Lemus. 2006. **Modelado de la Cinética de Secado de la Papaya Chilena (*Vasconcellea pubescens*)**. *Inf. tecnol.* Vol.17 (3): 23-31.
- Vernon C., J. 2000. Laboratorio de Operaciones Unitarias. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México.
- Villanueva M., C.M. 2002. Cultivo comercial de la lúcumá en Perú y el mercado internacional. Lima, Perú.

